L'EFFET DU FUMIER
DANS L'ENVIRONNEMENT CANADIEN

35 CNRC N° 18977

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA

COMITÉ ASSOCIÉ DU CNRC SUR LES CRITÈRES SCIENTIFIQUES CONCERNANT L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT

L'EFFET DU FUMIER DANS L'ENVIRONNEMENT CANADIEN

Préparé pour le compte du
Sous-comité exécutif

Publication CNRC n^{O} 18977

du

Secrétariat de l'environnement

Droits de la Couronne réservés

1983

En vente, moyennant commandes prépayées,
au:

Service des publications NRCC/CNRC
Ottawa, Canada K1A 0R6

Prix: 8,00 $

Le Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement a été créé par le Conseil national de recherches du Canada en réponse à un mandat du gouvernement fédéral visant à élaborer des directives scientifiques pour définir la qualité de l'environnement. Ce Comité s'intéresse strictement aux critères scientifiques, les normes de pollution et les objectifs étant la responsabilité des autorités de réglementation et étant établis dans le but de lutter contre la pollution. Ces normes et objectifs sont d'abord basés sur des critères scientifiques, mais ils tiennent compte également de l'impact socio-économique optimal des mesures proposées ainsi que de l'état de la technologie existante.

Le programme du Comité associé comprend l'évaluation des données disponibles relatives à la probabilité des effets de produits de contamination sur les organismes récepteurs, ainsi que l'appréciation des principes fondamentaux et des connaissances scientifiques qui y sont apparentés. On s'intéresse surtout aux produits de contamination et aux organismes récepteurs (et leurs interactions) qui sont importants pour notre pays, car les évaluations faites dans d'autres pays ou dans d'autres régions ne s'avèrent pas toujours pertinentes pour le Canada.

Les membres du Comité associé, de ses Sous-comités et de ses Groupes d'experts siègent à titre volontaire et sont choisis suivant leur compétence individuelle et leur expérience applicable, tout en tenant compte de l'équilibre qu'il faut conserver entre tous les secteurs au Canada. La responsabilité de la qualité des documents d'étude appartient au Comité associé. Chaque rapport est soigneusement revu suivant une méthode comprenant des étapes multiples, méthode qui a été établie et qui est contrôlée par le Conseil national de recherches du Canada, afin de conserver l'objectivité dans la présentation de connaissances scientifiques, la publication et la diffusion d'un rapport n'étant effectuées qu'après révision complète.

Nous invitons les intéressés à émettre des commentaires sur les documents du Comité associé, commentaires qui seront ensuite soigneusement revus par des Groupes d'experts. On envisage la révision périodique de ces critères scientifiques au fur et à mesure des nouvelles connaissances.

Tous les ouvrages publiés par le Comité associé le sont en français et en anglais.

MEMBRES DU GROUPE D'EXPERTS

R.L. Halstead (Président)
Directorat des instituts et de la coordination des programmes
Agriculture Canada
Ferme expérimentale centrale
Ottawa, Ontario K1A 0C5

I. Hoffman
Chef
Secrétariat de l'environnement
Conseil national de recherches du Canada
100, promenade Sussex
Ottawa, Ontario K1A 0R6

R.G. Bell
Meat Industry Research Institute of New Zealand (Inc.)
P.O. Box 617
Hamilton, Nouvelle-Zélande

C. Crober
Direction de la production et de la protection des végétaux et de la quarantaine des plantes
Agriculture Canada
Ferme expérimentale centrale
Ottawa, Ontario K1A 0C5

R. Frank
Directeur
Laboratoire d'analyse des résidus de pesticide de l'Ontario
Guelph, Ontario N1G 2W1

J.B. McQuitty
Doyen adjoint
Faculté d'agriculture et de foresterie
Université de l'Alberta
Edmonton, Alberta T6G 2G6

M.H. Miller
Département des sciences des ressources du sol
Université de Guelph
Guelph, Ontario N1G 2W1

M.J. Riddle
Chef adjoint
Division de l'environnement
Monenco Consultants Ltd.
Calgary, Alberta T2G 0P6

J.B. Robinson
Département de biologie environnementale
Université de Guelph
Guelph, Ontario N1G 2W1

D. Schulte
Département de génie agricole
Université du Manitoba
Winnipeg, Manitoba R3T 2N2

L.R. Webber
308, promenade Scottsdale
Guelph, Ontario N1G 2K8

M.D. Webber
Centre de la technologie des usées
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
C.P. 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6

LISTE DES AUTEURS

R.G. Bell
Meat Industry Research Institute
of New Zealand (Inc.)
P.O. Box 617
Hamilton, Nouvelle-Zélande

R. Frank
Directeur
Laboratoire d'analyse des résidus
de pesticide de l'Ontario
Guelph, Ontario N1G 2W1

A.J. MacLean
10, Avenue Fern
Ottawa, Ontario K1Y 3S1

J.B. McQuitty
Doyen adjoint
Faculté d'agriculture et de
foresterie
Université de l'Alberta
Edmonton, Alberta T6G 2G6

M.H. Miller
Département des sciences des
ressources du sol
Université de Guelph
Guelph, Ontario N1G 2W1

J.B. Robinson
Département de biologie
environnementale
Université de Guelph
Guelph, Ontario N1G 2W1

H.J. Smith
Direction de l'hygiène
vétérinaire
Laboratoire de la région de
l'Atlantique
Agriculture Canada
Sackville, Nouveau-Brunswick)
E0A 3C0

M.D. Sutton
Secrétariat de l'environnement
Conseil national de recherches du
Canada
100, promenade Sussex
Ottawa, Ontario K1A 0R6

L.R. Webber
308, promenade Scottsdale
Guelph, Ontario N1G 2K8

M.D. Webber
Centre de la technologie des eaux
usées
Service de la protection de
l'environnement
Environnement Canada
C.P. 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6

TABLE DES MATIÈRES

		PAGE
LISTE DES FIGURES		11
LISTE DES TABLEAUX		12
RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS		15
1.0	INTRODUCTION	19
2.0	POTENTIEL FERTILISANT DU FUMIER ET CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES RELATIVES À SON EMPLOI (A.J. MacLean, M.H. Miller et J.B. Robinson)	21
2.1	Composition et propriétés du fumier	21
2.1.1	Processus de digestion	21
2.1.2	Effets de l'alimentation	22
2.1.3	Propriétés physiques du fumier	22
2.1.4	Composition chimique du fumier	25
2.1.5	Modifications pendant le stockage	28
2.2	Effets de l'épandage du fumier sur les propriétés du sol	30
2.2.1	Propriétés physiques du sol	31
2.2.2	Disponibilité des sels nutritifs	33
2.2.2.1	Azote	33
2.2.2.2	Phosphore	35
2.2.2.3	Potassium	37
2.2.2.4	Micro-éléments nutritifs	37
2.3	Effets agronomiques et environnementaux de l'épandage de fumier	37
2.3.1	Intégration de l'épandage dans un système de culture	37
2.3.2	Atténuation des effets environnementaux	44
2.3.2.1	Effets nuisibles de l'excédent de fumier sur les sols et les cultures	44
2.3.2.2	Effet du fumier sur la qualité de l'eau	45
2.3.2.3	Apport dans les pièces d'eau de sels nutritifs provenant de l'élevage du bétail	52
3.0	GAZ ET ODEUR ÉMANANT DU FUMIER (J.B. McQuitty et A.J. MacLean)	55
3.1	Gaz	55
3.1.1	Gaz asphyxiants	55
3.1.2	Gaz irritants	57
3.1.3	Effets sur les humains et les animaux	60
3.2	Odeurs	60

TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

		PAGE
4.0	MICRO-ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET MÉTAUX LOURDS DANS LE FUMIER DE BÉTAIL ET DE VOLAILLE (M.D. Webber et L.R. Webber)	63
4.1	Éléments dans le sol et le fumier	64
4.1.1	Sols	64
4.1.2	Fumiers	64
4.1.3	Comparaison des concentrations dans le fumier et dans le sol	68
4.2	Effets sur la production agricole et animale	70
4.3	Critères relatifs à l'utilisation du fumier	72
4.4	Effets sur la qualité de l'eau	73
5.0	PESTICIDES, POLLUANTS ORGANIQUES, PRODUITS PHARMACEUTIQUES ET ADDITIFS ALIMENTAIRES PRÉSENTS DANS LE FUMIER (R. Frank)	77
5.1	Résidus de pesticides dans le fourrage	77
5.2	Résidus de polluants organiques dans le fourrage	78
5.3	Produits ajoutés au fourrage et à l'eau	78
5.4	Insecticides topiques appliqués en aérosol et substances thérapeutiques	80
5.5	Injection ou application thérapeutique	80
5.5.1	Traitement du fumier	81
5.6	Risques liés à l'utilisation de substances organiques	81
6.0	PRÉSENCE DANS LE FUMIER DE BACTÉRIES ET DE CHAMPIGNONS PATHOGÈNES POUR LES ANIMAUX (R.G. Bell)	83
6.1	Bactéries	83
6.1.1	Maladies néo-natales	83
6.1.2	Abcès podaux	85
6.1.3	Érysipèles	85
6.1.4	Maladies dues aux clostridies	86
6.1.5	Dysenterie	86
6.1.6	Salmonellose	89
6.1.7	Leptospirose	89
6.1.8	Brucellose	90
6.1.9	Maladies mycobactériennes	90
6.1.10	Charbon bactérien	91
6.2	Champignons	91
6.2.1	Mycoses exogènes	92
6.2.1.1	Aspergillose	92
6.2.1.2	Cryptococcose	92
6.2.1.3	Histoplasmose	92

TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

		PAGE
6.2.2	Mycoses endogènes	93
6.2.2.1	Candidose	93
6.3	Conclusion	93
7.0	PRÉSENCE DANS LE FUMIER DE VIRUS PATHOGÈNES POUR LES ANIMAUX (H.J. Smith)	95
7.1	Transmission des virus	95
7.1.1	Excrétion des virus	95
7.1.2	Transmission par les arthropodes	96
7.1.3	Transmission par les nématodes	96
7.1.4	Faune	96
7.2	Facteurs influant sur la survie des virus	96
7.2.1	Lumière ultraviolette (uv)	96
7.2.2	Lumière du jour	97
7.2.3	Température	97
7.2.4	Dessiccation	98
7.2.5	Oxydation	98
7.3	Survie des virus à l'extérieur de l'hôte	98
8.0	PRÉSENCE DANS LE FUMIER DE PARASITES PATHOGÈNES POUR LES ANIMAUX (H.J. Smith)	99
8.1	Facteurs influant sur la survie des parasites au stade d'autonomie	100
8.1.1	Exigences physiologiques	100
8.1.2	Température	100
8.1.3	Dessiccation	101
8.1.4	Lumière du soleil	101
8.1.5	Conditions météorologiques	102
8.2	Fumier déposé ou épandu dans les pâturages	102
8.2.1	Spécificité de l'hôte	103
8.2.2	Transmission croisée	103
8.2.3	Transmission par la faune sauvage	103
8.2.4	Effluents	103
8.2.5	Survie des parasites dans les pâturages	104
8.2.6	Vecteurs	104
8.2.7	Enfouissement du fumier par labour	104
8.3	Traitement antiparasitaire du fumier	105
8.3.1	Stockage	105
8.3.2	Chauffage	105
8.3.3	Déshydratation	106
8.3.4	Compostage	106
8.3.5	Traitement anaérobie	106
8.3.6	Fermentation	106
8.3.7	Traitement chimique	107

TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

		PAGE
9.0	PRÉSENCE DANS LE FUMIER D'AGENTS PATHOGÈNES POUR LES ANIMAUX: EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT ET SUR LA SANTÉ PUBLIQUE (A.J. MacLean)	109
9.1	Élevage	110
9.2	Épandage de fumier	111
9.2.1	Irrigation avec du fumier liquide	111
9.2.2	Fumier incorporé dans le sol	112
9.3	Effet de l'élevage et de l'élimination du fumier sur l'environnement	113
10.0	PRÉSENCE DANS LE FUMIER D'AGENTS PHYTOPATHOGÈNES ET DE GRAINES DE MAUVAISES HERBES (M.D. Sutton)	115
10.1	Phytotoxicité	115
10.2	Agents phytopathogènes	116
10.3	Graines de mauvaises herbes	119
ABRÉVIATIONS ET AUTRES UNITÉS ÉQUIVALENTES		122
RÉFÉRENCES		123
INDEX		141

LISTE DES FIGURES

FIGURE		PAGE
3-1	Décomposition anaérobie des matières organiques du fumier	56
4-1	Histogrammes représentant la distribution des concentrations d'éléments traces dans le fumier et le sol au Canada	66

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU		PAGE
2-1	Proportion des sels nutritifs ingérés qui est excrétée par les animaux de ferme	23
2-2	Caractéristiques du fumier	24
2-3	Répartition du fumier brut, de la matière sèche et de l'eau entre l'urine et les matières fécales des divers animaux de ferme	26
2-4	Composition du fumier frais (humide)	27
2-5	Effet de l'épandage de fumier de volaille liquide sur la stabilité à l'eau d'agrégats de sol	32
2-6	Effets à long terme du fumier et du superphosphate sur la teneur en P à Barnfield, Rothamsted	36
2-7	Quantité de P extractible au $NaHCO_3$ dans des agrégats obtenus par tamisage humide après incubation pendant 93 jours, pour diverses teneurs en P ajouté sous forme d'engrais phosphaté ou de fumier	38
2-8	Valeur comme engrais du fumier produit par une vache laitière en 365 jours	39
2-9	Comparaison du fumier et d'un engrais pour une rotation de quatre ans sur un loam sableux à Ottawa	42
2-10	Constantes de décomposition servant à évaluer l'accessibilité aux cultures de l'azote du fumier	43
2-11	Qualité de l'eau de ruissellement provenant de parcs d'engraissement et de fumières situés dans le sud de l'Ontario	48
2-12	Concentration moyenne d'azote et de phosphore dans l'eau provenant de la fonte des neiges dans quatre cas de ruissellement à partir de parcelles amendées au purin de vache laitière à différents moments et à différents taux d'épandage	51
3-1	Propriétés des principaux gaz émanant du fumier et réponse physiologique chez l'humain adulte	58
4-1	Teneurs en micro-éléments nutritifs et en éléments non nutritifs des fumiers et des sols au Canada	65

LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

TABLEAU		PAGE
4-2	Teneurs en micro-éléments nutritifs et en éléments non nutritifs de divers fumiers	69
4-3	Taux maximal d'addition de micro-éléments nutritifs et d'éléments non nutritifs recommandé pour les sols de l'Ontario et nombre d'épandages nécessaire pour l'atteindre	74
6-1	Fréquence des maladies bactériennes affectant le bétail canadien et transmises par les excréments et l'urine	84
6-2	Entérotoxémies causées par des biotypes de *Clostridium perfringens*	87
6-3	Toxémies dues aux clostridies	88
10-1	Agents pathogènes viables dans le fumier après passage dans l'appareil digestif des animaux de ferme	117
10-2	Maladies des plantes qui peuvent avoir été causées par des déchets de cultures infectées introduits dans le fumier	118
10-3	Espèces de graines de mauvaises herbes récupérées dans les excréments d'animaux de ferme au Canada	120

RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

Depuis des siècles, le fumier est considéré comme une bonne source d'éléments nutritifs pour les plantes et comme engrais pour le sol. Jusqu'à tout récemment, les méthodes d'entreposage et d'utilisation s'appliquaient surtout à l'agriculture. Mais les tendances agricoles actuelles qui visent à intensifier et à concentrer la production de bétail, de porcs et de volaille risquent d'avoir des conséquences dangereuses à cause du stockage et du rejet de grandes quantités de fumier sur des terrains trop petits. Dans le présent document, on expose les problèmes les plus importants causés par le fumier et on formule des recommandations sur la façon de le stocker et de l'utiliser. De nombreux domaines de recherches ont été identifiés. Ceux qui ont spécifiquement trait à une section du texte sont énumérés au Tableau A. Les recommandations et autres domaines de recherche sont présentés ci-après en majuscules.

On cite plusieurs cas d'eau polluée par des entreprises d'élevage mal situées, utilisant des méthodes de stockage inadéquates et de mauvaises pratiques de gestion. L'introduction de matière organique et d'éléments nutritifs (N et P), qui interdirait la présence de certaines formes de vie aquatique ou l'utilisation des plans d'eau à des fins récréatives, soulève des inquiétudes. La composition des fumiers, les transformations qu'ils subissent au cours de leur décomposition, la libération des éléments nutritifs et leur transport vers un plan d'eau par ruissellement ou par lixiviation dans le sol vers la nappe phréatique ont fait l'objet de nombreuses publications. La réglementation de l'utilisation du fumier dans le but de protéger la qualité de l'environnement est compliquée du fait que la gestion dépend beaucoup des conditions du sol, des cultures et de la température. IL EST ESSENTIEL QUE LES QUANTITÉS DE FUMIER ÉPANDUES CORRESPONDENT AUX BESOINS DE CHAQUE TYPE DE SOL ET AUX EXIGENCES DES ESPÈCES CULTIVÉES DANS DIFFÉRENTES CONDITIONS PÉDOLOGIQUES, HYDROLOGIQUES AVEC DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CULTURE. IL EST IMPORTANT D'INTÉGRER DE PRÈS LES LIGNES DIRECTRICES ET LA TECHNOLOGIE À CHAQUE ENTREPRISE AGRICOLE. IL FAUT ACCROÎTRE LES SERVICES TECHNIQUES ET APPROFONDIR LES CONNAISSANCES SUR L'ENVIRONNEMENT, ET LES INTÉGRER AUX SERVICES AGRICOLES ACTUELS POUR S'ASSURER QUE LES PRATIQUES DE GESTION RESPECTENT LES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES. Ces services serviront à résoudre des problèmes connus et à contrôler des zones où l'on soupçonne l'existence d'un problème. Il y aurait lieu aussi d'améliorer les systèmes de stockage du fumier.

La décomposition anaérobie dans les systèmes de manutention du fumier liquide produit des gaz (CO_2, CH_4, NH_3 et H_2S) qui menacent la santé des humains et des animaux. Les concentrations admissibles de ces gaz dans les étables et leurs effets sur diverses espèces animales n'ont pas encore été établis (Tableau A). Par contre, la décomposition aérobie du fumier est relativement inodore et ne produit pas de gaz.

Tableau A. Domaines où il y aurait lieu de faire des recherches.

Section	Domaine
2.2.2.2	Déterminer le mécanisme par lequel le fumier donne plus de P soluble dans le $CaCl_2$ 0,01 M dans le sol que l'engrais chimique.
3.1.3	Établir des concentrations admissibles de gaz produits par le fumier dans les bâtiments de ferme.
3.1.3	Déterminer les effets des divers gaz produits par le fumier (H_2S, NH_3, CH_4 et CO_2) sur diverses espèces animales et déterminer les concentrations admissibles.
3.1.3	Étudier l'élimination et la transformation des gaz nocifs produits par la décomposition anaérobie du fumier dans un climat froid.
3.2	Améliorer et normaliser les méthodes sensorielles permettant d'évaluer les odeurs non toxiques mais désagréables produites par le fumier.
4.4	Déterminer l'importance de la contamination de l'eau par les micro-éléments nutritifs provenant de sols amendés au fumier.
5.6	Déterminer la persistance et l'effet des résidus de composés organiques dangereux excrétés avec le fumier, sur le sol, les organismes du sol, les cultures, les animaux et les humains.
5.6	Étudier la possibilité de transfert génétique de la résistance aux médicaments, à partir de souches microbiennes non pathogènes dans le fumier à des souches pathogènes de certaines espèces.
7.1.4	Déterminer le rôle de la faune dans la transmission des virus par contamination fécale des pâturages et des habitats du bétail.
7.2.5	Expliquer le rôle de l'oxydation par aération dans la désactivation "spontanée" des virus dans le fumier.
7.3	Déterminer les effets des diverses méthodes de traitement et de manipulation sur la survie des virus du bétail dans le fumier.
8.1.1	Établir le rôle du métabolisme intermédiaire des larves parasites infectieuses en fonction de leur survie.
8.3.5	Déterminer l'efficacité de la décomposition anaérobie pour détruire les oeufs et les larves de parasites dans le fumier.
8.3.7	Déterminer l'efficacité des traitements chimiques pour détruire les stades autonomes des parasites dans le fumier.

Cette solution reviendrait cependant trop cher au Canada à cause du climat froid. C'est pourquoi il serait intéressant de trouver une méthode permettant de transformer ou d'inhiber les gaz nocifs produits en milieu anaérobie.

Les teneurs en micro-éléments nutritifs et en métaux lourds des fumiers en fonction des concentrations tolérables dans les sols et les cultures ont été déterminées par plusieurs chercheurs. Les données sur la présence dans l'eau de micro-éléments nutritifs provenant du fumier sont insuffisantes. Un seul danger potentiel pour la qualité du sol et la production agricole a été noté: l'utilisation du fumier provenant de porcs dont l'alimentation contenait un supplément en cuivre. Il faudrait établir des taux d'application admissibles pour ce type de fumier et contrôler la concentration de cuivre dans le fumier, le sol traité et les cultures.

Le fumier est une source potentielle de produits organiques dangereux. Des concentrations importantes de polluants organiques, de résidus de pesticides et de stimulateurs de croissance dans le fourrage, ainsi que d'aérosols insecticides d'antibiotiques et de médicaments appliqués de façon topique sont incorporés dans le fumier. Le danger de ces composés peut être amoindri par adsorption et décomposition dans le sol, mais on connaît mal leur persistance et l'effet de leurs résidus sur les processus biologiques dans le fumier, dans les sols amendés, sur les plantes et sur la santé des animaux et des humains. Le potentiel du fumier en tant que source d'organismes pouvant transférer génétiquement leur résistance à des souches pathogènes n'a pas été déterminé.

Avec les systèmes actuels de traitement du fumier en boue, de nombreux organismes pathogènes et de nombreuses espèces de graines de mauvaises herbes qui étaient détruits par la chaleur produite dans les systèmes traditionnels de stockage du fumier solide survivent plus longtemps. ON RECOMMANDE EN GÉNÉRAL DE FAIRE APPEL PLUS FRÉQUEMMENT AUX SERVICES D'ÉDUCATION ET AUX RÈGLEMENTS POUR RÉDUIRE AU MINIMUM LA DISPERSION DES ORGANISMES PATHOGÈNES ET DES GRAINES DE MAUVAISES HERBES, EN VUE D'ASSURER UNE MEILLEURE GESTION DES ENTREPRISES D'ÉLEVAGE ET DES MODES D'ÉLIMINATION DU FUMIER. L'ÉLIMINATION DE FUMIER PROVENANT D'ANIMAUX INFECTÉS DEVRAIT FAIRE L'OBJET D'UNE ATTENTION TOUTE PARTICULIÈRE ET COMPRENDRE UN TRAITEMENT DESTINÉ À ISOLER ET À DÉTRUIRE LES AGENTS PATHOGÈNES. IL EST IMPORTANT D'EXERCER EN TOUT TEMPS UNE GRANDE PRUDENCE POUR ÉVITER LE REJET DU FUMIER À UN ENDROIT OÙ LES ORGANISMES PATHOGÈNES POURRAIENT S'INTRODUIRE DANS LES PLANS D'EAU. LES DONNÉES SUR LA SURVIE ET LE CARACTÈRE INFECTIEUX DE NOMBREUX ORGANISMES PATHOGÈNES DANS LE FUMIER SONT INSUFFISANTES, SURTOUT EN CE QUI CONCERNE L'INFLUENCE DU FUMIER, DU SOL, DE L'EAU ET L'EFFET DES INTERACTIONS AVEC LES AUTRES ORGANISMES.

1.0 INTRODUCTION

Le présent document traite du fumier en tant qu'amendement précieux. Il est intéressant de noter que l'une des premières publications du Service des fermes expérimentales du ministère de l'Agriculture du Canada, s'intitulait "Barnyard manure; its nature, functions, composition, fermentation, preservation and application" (Shutt 1898). Pendant la première moitié du siècle, on a effectué à travers le pays beaucoup d'expériences sur l'épandage de fumier. Les techniques efficaces mises au point pour utiliser le fumier en agriculture étaient, peut-être par hasard, en harmonie avec les besoins du milieu.

Plus récemment, avec l'intensification de l'élevage du bétail et des volailles, l'élimination de grandes quantités de fumier dépassant les besoins du sol où elles sont produites constitue un problème. Cette production accrue de fumier coïncide avec la prise de conscience par le public du fait qu'il faut protéger les pièces d'eau contre l'enrichissement en sels nutritifs et en matières organiques. Le présent document porte donc sur le stockage et l'utilisation agricole du fumier de façon à tenir compte de l'environnement. Parmi les sujets traités, citons: les gaz émanant du fumier et leur odeur, les pathogènes du fumier, les pesticides et autres polluants organiques dans le fumier, les microéléments et les métaux lourds dans le fumier, le potentiel fertilisant du fumier, ainsi que la dissémination et l'introduction de graines de mauvaises herbes.

La valeur du fumier pour la production agricole peut être illustrée par une estimation des quantités d'azote, de phosphore et de potassium contenues dans la production canadienne annuelle de fumier de bestiaux et de volailles. En se basant sur la population animale (Statistics Canada 1976) et en se servant des coefficients de conversion pertinents, on a estimé ces quantités à 530 849 tonnes d'azote, 117 227 tonnes de phosphore et 505 673 tonnes de potassium. La valeur totale de ces sels nutritifs contenus dans le fumier se monte à environ 575 M$ (en supposant que les prix des engrais sont de 0,55 $.kg^{-1} pour l'azote et le phosphore (P_{205}) et de 0,22 $.kg^{-1} pour le potassium (K_2O)). Ces estimations pourraient être réduites de beaucoup à cause des pertes durant le stockage, mais elles soulignent l'importance économique d'une gestion saine du stockage du fumier et de son utilisation en agriculture.

Actuellement, le fumier sert surtout à l'épandage agricole, mais, dans le futur, d'autres emplois peuvent devenir importants: par exemple, l'alimentation des animaux (Azevedo et Stout 1974; Hamblin 1980; Helmer 1980) et la production d'ammoniac, de méthane ou d'autres carburants (Whetstone et al. 1974; Azevedo et Stout 1974; van den Berg 1980).

2.0 POTENTIEL FERTILISANT DU FUMIER ET CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES RELATIVE À SON EMPLOI

A.J. MacLean[α], M.H. Miller[β] et J.B. Robinson[β]

2.1 COMPOSITION ET PROPRIÉTÉS DU FUMIER

Les propriétés du fumier diffèrent d'une espèce animale à l'autre et dépendent du régime alimentaire. Des changements de composition commencent aussitôt que le fumier est excrété, et les conditions de stockage ont un effet prononcé sur les sortes de changements et sur leurs vitesses. L'addition d'eau de dilution ou de litière peut aussi modifier les propriétés du fumier. Il est donc impossible de fixer une composition et des propriétés typiques, bien que, pour une espèce animale donnée, on puisse prévoir dans des limites assez étroites les propriétés physiques et chimiques du fumier fraîchement excrété.

2.1.1 PROCESSUS DE DIGESTION

Les mécanismes digestifs des ruminants (bovins et ovins) diffèrent beaucoup de ceux des non ruminants (volailles, porcs et chevaux). Grâce à leur estomac à quatre compartiments très différenciés, les ruminants sont capables de métaboliser une grande partie de la cellulose des plantes qu'ils mangent. Le processus commence dans le premier compartiment qui sert d'enceinte efficace de fermentation. La forte population microbienne dans le liquide du rumen hydrolyse la cellulose des aliments en glucides solubles, qui sont ensuite rapidement transformés en acides organiques, et fournissent l'énergie alimentaire aux ruminants. La teneur en protéines du fourrage peut être augmentée car l'azote non protéique est transformé en protéine microbienne dans le rumen. Cette protéine ainsi que des facteurs de croissance et d'autres composés nécessaires fabriqués dans le rumen passent dans les autres compartiments de l'estomac où il y a digestion normale comme chez les autres mammifères. La quantité de fibres résistant à la digestion et excrétées par la suite est réduite de beaucoup grâce à l'action du rumen. Cependant, une quantité appréciable de la matière organique du fumier des ruminants est constituée de cellules microbiennes.

Les micro-organismes jouent un rôle beaucoup moins important dans la digestion des animaux non ruminants (à un seul estomac). C'est pourquoi il faut que l'alimentation des porcs et des volailles comprenne

---

α Ancien chercheur scientifique, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario.

β Professeurs, Université de Guelph, Guelph, Ontario.

des sources d'énergie digestibles et suffisamment de facteurs protéiques et de facteurs de croissance. Les matières cellulosiques qui fournissent le volume alimentaire se retrouvent dans les excréments sans être trop modifiées. Parmi les animaux domestiques à un seul estomac, le cheval constitue une exception à cette règle, car son gros intestin comprend un sac spécial (caecum) où des bactéries anaérobies peuvent hydrolyser les éléments cellulosiques et les rendre accessibles comme source d'énergie.

L'appareil génito-urinaire des oiseaux diffère de celui des mammifères; il ressemble plutôt à celui des reptiles. Cette différence est importante pour les caractéristiques du fumier, car les reins des oiseaux se vident à travers les uretères dans le cloaque où l'urine est mélangée aux excréments avant d'être excrétée par un même orifice. De plus, le principal composant azoté des excréments d'oiseaux est l'acide urique, alors que chez les mammfières l'urée est un des composants de l'urine.

2.1.2 EFFETS DE L'ALIMENTATION

L'alimentation des animaux influe de façon marquée sur la composition du fumier qui, pour une classe donnée d'animaux, peut être prévue en gros à l'aide de coefficients de digestion des aliments. Il faut prendre cependant certaines précautions, car les proportions des autres sels nutritifs ingérés influent sur les coefficients de digestion. Le Tableau 2-1 présente le taux d'excrétion des principaux sels nutritifs pour les différentes espèces. Pour la plupart des catégories animales, environ les 2/3 de l'azote et du phosphore ingérés et les 4/5 du potassium ingéré sont excrétés. L'utilisation des coefficients de digestion présuppose une alimentation raisonnablement équilibrée; par exemple, si l'alimentation contient des excédents importants de protéines, la proportion de N excrété sera beaucoup plus importante que celle donnée au Tableau 2-1.

2.1.3 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU FUMIER

La plage de variation des propriétés physiques du fumier est vaste, et elle dépend des espèces animales, de l'alimentation, de la litière et des conditions de stockage. Cependant, pour fournir une base servant à la conception des installations, des groupes d'experts ont fait la moyenne de certaines caractéristiques qu'ils ont publiées. L'American Society of Agricultural Engineers (1981) a publié une liste de ce genre qui est maintenant largement acceptée aux E.-U.; le pendant canadien de cette publication est le Canada Animal Waste Management Guide qui à été revu récemment (1979). Les volumes de fumier produits par diverses classes d'animaux ainsi que leur teneur en humidité (tirés de ces deux sources) apparaissent au Tableau 2-2.

Tableau 2-1. Proportion des sels nutritifs ingérés qui est excrétée par les animaux de ferme (Smelski 1976; communication personnelle).

	Proportion excrétée (%)		
	N	P	K
Veaux non sevrés	40	36	82
Bouvillons d'engraissement	80	61	93
Vaches laitières	71	73	90
Porcs d'engraissement	65	69	86
Poulet à griller	61	69	80
Poules pondeuses	70	68	87
Dindes à griller	59	71	75
Grosses dindes	60	67	79

Tableau 2-2. Caractéristiques du fumier (matières fécales et urines, telles qu'évacuées)[α].

Animal	Volume ($L.d^{-1}$/animal)	Teneur en humidité (% massique)
Boeuf ou veau laitier		
(0-3 mois)	5,4	
(0-6 mois)	7,1	
Bouvillon ou génisse		
(6-15 mois)	14,2	
(15-24 mois)	21,2	
Vache de boucherie (545 kg)	28,3	
Vache laitière (545 kg)	45,3	87
Porc		
3-6 semaines (5-10 kg)	1,1	
8-22 semaines (20-90 kg)	5,1	91
12-16 semaines (36-55 kg)	5,1	
20-22 semaines (81-90)	9,1	
Truie	11,3	
Poulet		
À griller (0-1,8 kg)	0,08	25 (litière)
Poule pondeuse (1,8 kg)	0,14	77
Dinde		
À griller (0-14 weeks)	0,13	
D'engraissement	0,34	
Mouton (brebis)	2,8	75
Cheval	26,0	80

α Tiré d'une liste préparée par l'American Society of Agricultural Engineers en 1981 et du Canada Animal Waste Management Guide (1979).

Azevedo et Stout (1974) ont estimé les proportions de fumier brut total, de matières sèches et d'eau excrétées dans les matières fécales et l'urine, respectivement, par différentes espèces de bestiaux (Tableau 2-3). Tietjen (1966) a montré que ces proportions variaient selon l'âge de l'animal et le stade de la lactation. Environ 9/10 de la matière sèche du fumier est excrétée dans les matières fécales.

2.1.4 COMPOSITION CHIMIQUE DU FUMIER

Le fumier diffère des engrais chimiques par sa nature organique et sa plus grande diversité de composés. Par exemple, Whetstone et al. (1974) ont montré que l'ensemble de la portion solide du fumier de vaches laitières peut contenir jusqu'à 20% de lignine, 31% de cellulose, 24% de fibres et 12% de protéines, soit environ 42 kg par jour pour une vache de 455 kg. Le rapport C:N du fumier de boeuf de boucherie dépassait 15:1 et sa demande biologique d'oxygène (DBO) était de 0,73 $kg.d^{-1}$/animal. Au Chapitre 4.0, on traite de la teneur en microéléments du fumier. En plus de l'azote, du phosphore et du potassium (les principaux sels nutritifs des plantes), le fumier contient aussi des quantités appréciables de calcium, de magnésium et de soufre. La matière sèche du fumier de volaille contient 8,1% de Ca, 0,63% de Mg et 0,68% de S (Azevedo et Stout 1974). Les valeurs correspondantes pour le fumier de bovin d'élevage étaient 0,55% de Ca, 0,46% de Mg et 0,39% de S. Whetstone et al. (1974) ont signalé des concentrations de NaCl de 2,2% dans l'ensemble des matières solides du fumier de vaches laitières et de 3,83-4,94% dans les matières solides du fumier de volaille.

Le Tableau 2-4 donne une estimation des concentrations de N, de P et de K dans le fumier frais provenant de la volaille et de différentes espèces de bestiaux. Les concentrations de N et de K sont considérablement plus élevées dans les urines que dans les matières fécales du cheval, de la vache et du mouton. Plus de la moitié du N et environ 4/5 du K excrétés par la vache se trouvent dans l'urine. Par contre, le P est excrété en grande partie dans les matières fécales des différentes espèces animales; on n'en trouve que de petites quantités dans l'urine. Tous les fumiers contiennent plus de N que de K et ont une faible teneur en P. Le fumier de volaille et de mouton contient bien davantage de ces trois sels nutritifs, surtout le N, que le fumier de vache. Les teneurs en P et en K du fumier de volaille sont comparables. Les nombreuses données réunies par Azevedo et Stout (1974) ainsi que par Whetstone et al. (1974) montrent aussi que la composition du fumier dépend de l'animal, de son stade de croissance et de son alimentation.

La litière utilisée et la proportion d'urine retenue pendant le stockage influent sur la composition du fumier. Les sels nutritifs sont en général présents dans l'urine sous forme insoluble (p.ex. le N existe sous forme d'urée); cependant, dans les matières fécales, le N est lié aux aliments non digérés. Les autres facteurs contribuant à la

Tableau 2-3. Répartition du fumier brut, de la matière sèche et de l'eau entre l'urine et les matières fécales des divers animaux de ferme (Azevedo et Stout 1974).

Composant du fumier	Espèces			
	Cheval	Bovin	Mouton	Porc
Fumier brut total				
Pourcentage excrété dans les matières fécales	81	71	63	63
Pourcentage excrété dans l'urine	19	29	37	37
Matières sèches				
Pourcentage excrété dans les matières fécales	91	88	82	92
Pourcentage excrété dans l'urine	9	12	18	8
Eau				
Pourcentage excrété dans les matières fécales	79	70	55	59
Pourcentage excrété dans l'urine	21	30	45	41

Tableau 2-4. Composition du fumier frais (humide) (MacLean et Hore 1974).

Composant	Proportions		Azote (N)		Phosphore (P)		Potassium (K)	
	%	kg.t^{-1}	%	kg.t^{-1}	%	kg.t^{-1}	%	kg.t^{-1}
Cheval								
Matières fécales	80	800	0,55	4,40	0,13	1,05	0,33	2,65
Urine	20	200	1,35	2,70	traces		1,00	2,00
Total		1000	0,71	7,10	0,13	1,05	0,47	4,65
Vache								
Matières fécales	70	700	0,40	2,80	0,09	0,61	0,08	0,58
Urine	30	300	1,00	3,00	traces		1,12	3,36
Total		1000	0,58	5,80	0,09	0,61	0,39	3,94
Porc								
Matieres fécales	60	600	0,55	3,30	0,22	1,31	0,33	1,99
Urine	40	400	0,60	2,40	0,04	0,17	0,37	1,49
Total		1000	0,57	5,70	0,15	1,48	0,35	3,48
Mouton								
Matières fécales	67	670	0,75	5,03	0,22	1,46	0,38	2,51
Urine	33	330	1,35	4,46	0,02	0,07	1,74	5,75
Total		1000	0,95	9,49	0,16	1,63	0,83	8,26
Volaille			1,47	14,7	0,50	5,0	0,40	4,0

variabilité des échantillons comprennent la teneur en humidité du fumier frais et la présence de paille de litière ne contenant qu'environ 0,5% de N, 0,01% de P et 0,8% de K.

L'efficacité de la transformation des protéines végétales en protéines animales a un effet marqué sur la concentration du N dans le fumier. Comme Azevedo et Stout l'ont mentionné (1974), le rapport de transformation pour une vache laitière est d'environ 4:1 pour sa période productive et aussi peu que 1,1:1 au début de sa vie; pour le bovin d'engraissement, cet indice est de 8:1. La concentration de N est donc en général supérieure dans le fumier de bouvillon que dans celui de vache laitière ou encore dans le fumier de poulet à griller que dans celui de poule pondeuse. D'habitude, la nourriture des animaux en croissance contient plus de N que celle des vaches laitères ou des poules pondeuses. Les mêmes auteurs, citant Hays et Swenson (1970), laissent entendre que la teneur en P du fumier du ruminant est en général inférieure à celle du fumier de volaille ou de porc, car les ruminants peuvent extraire le phosphore lié de façon organique contenu dans leur fourrage. Il y a une relation directe entre la qualité du NaCl dans le fumier de bétail ou de volaille et celle dans leurs alimentations. La forte teneur en sels de Ca dans les aliments des volailles se reflète dans la concentration élevée de cet élément dans le fumier de poule pondeuse.

2.1.5 MODIFICATIONS PENDANT LE STOCKAGE

Le fumier peut être stocké sous forme solide, semi-solide ou liquide. Les systèmes de manutention du fumier de bovin de boucherie, de vache laitière, de porc et de volaille ont été décrits en détail dans le Canada Animal Waste Management Guide (1979). Aussitôt que le fumier est excrété, sa composition subit des modifications brusques par suite de la décomposition causée par l'action de bactéries, de champignons et d'autres organismes. Le processus de décomposition en produits simples dépend de la nature du fumier, de la température et surtout de la quantité d'oxygène disponsible.

Azevedo et Stout (1974) ont traité des modifications du fumier pendant la décomposition. En présence d'oxygène dissous, les organismes aérobies, qui se servent de la matière organique comme source d'énergie en faisant intervenir des réactions biochimiques et des réactions d'oxydation, synthétisent de nouvelles substances microbiennes et rejettent du dioxyde de carbone et de l'eau. Ces substances microbiennes sont à leur tour décomposées par d'autres microbes. Les micro-organismes se servent des produits minéralisés de la décomposition du fumier pour synthétiser leur protoplasme. Les constituants organiques plus facilement dégradables (p.ex. amidons, hémicelluloses, cellulose et protéines) constituent une source facilement accessible de carbone, mais les lignines, qui résistent à l'attaque par les espèces aérobies, ne sont pas touchées lors de la dégradation. Comme les

champignons et les bactéries ont besoin d'oxygène, la dégradation anaérobie est beaucoup moins efficace que la dégradation aérobie. Il faut de l'oxygène pour continuer la dégradation des composés résiduels obtenus en conditions aérobies (par exemple les alcools et les acides organiques obtenus à partir des glucides, ainsi que les pyridines, les indoles, l'ammoniac et les amines obtenus par dégradations des protéines). Voici certains des produits finaux de la dégradation anaérobie: méthane, dioxyde de carbone, hydrogène, traces de sulfure d'hydrogène et ammoniac, ainsi que matières solides inertes et substances microbiennes synthétisées.

Dans les tas de fumier, les conditions dans certaines sections peuvent être anaérobies, alors que dans d'autres (par exemple à la surface) elles peuvent être aérobies; il s'ensuit que les transformations peuvent se produire simultanément par des processus anaérobies et aérobies. Les données présentées par Azevedo et Stout (1974) montrent que, après dégradation, les quantités d'hémicellulose et de cellulose contenues dans le fumier de mouton et de cheval sont considérablement réduites, mais qu'il y a augmentation importante de la quantité de lignine et de cendre. En comparant le potential polluant des fumiers de différentes espèces animales, les auteurs ont trouvé que la DBO par unité massique était plus élevée pour le fumier de volaille et de porc que pour le fumier de bovin, de cheval ou de mouton.

Lorsque les composés organique azotés sont oxydés, la perte d'ammoniac par volatilisation diminue fortement le N facilement disponible lorsque le fumier est utilisé comme engrais. Quant au phosphore et au potassium, ils s'accumulent dans les cendres lors de la minéralisation, à la condition qu'il n'y ait aucune lixiviation par les matériaux de l'installation de stockage. En effet, si les matériaux de la fumière n'ont pas reçu un revêtement destiné à empêcher la lixiviation, les pertes de N et de K solubles dans l'urine diminuent de façon appréciable la qualité du fumier. Azevedo et Stout (1974) ont montré que la lixiviation avec de l'eau des matières fécales des vaches laitières élimine une partie du N et du P et beaucoup plus de K. Le N et le P organiques dans les matières fécales sont moins sujets à lixiviation. Dans l'urine, le N existe sous forme d'urée sauf dans le fumier de volaille où il existe sous forme d'acide urique qui est rapidement transformé en urée facilement hydrolysée en ammoniac. Selon Azevedo et Stout (1974), l'ammoniac est la source habituelle d'azote pour la synthèse du protoplasme microbien. Vu le faible rapport C:N dans les fumier, il y a libération d'une certaine quantité d'ammoniac excédant celle nécessaire à l'activité microbienne. La perte d'azote ammoniacal par volatilisation dans l'atmosphère est accrue par l'augmentation de la température, le séchage et les conditions alcalines. Azevedo et Stout (1974) ont montré par exemple que 49,4% de l'azote ammoniacal était perdu en 12 heures par fermentation du fumier à une température de 20°C et sous un vent de 13,7 $km.h^{-1}$. En milieu aérobie, une partie de l'ammoniac sera oxydée en nitrate et perdue par volatilisation, tandis que le reste servira à la synthèse des protéines

microbiennes. L'azote du nitrate qui pénètre plus profondément dans le tas de fumier, où les conditions sont anaérobies, peut être réduit en azote gazeux ou en oxyde nitreux qui sont rejetés dans l'atmosphère.

On traite au Chapitre 3.0 des dangers pour les humaine et les animaux du dioxyde de carbone, de l'ammoniac, du sulfure d'hydrogène et du méthane s'échappant des fumières.

2.2 EFFETS DE L'ÉPANDAGE DE FUMIER SUR LES PROPRIÉTÉS DU SOL

Au Canada, il existe présentement peu de possibilités pratiques d'éliminer les très grandes quantités de fumier produit par le bétail et les volailles, si ce n'est l'épandage direct sur les sols agricoles. De petites quantités sont transformées en compost et vendues en milieu urbain. A l'avenir, des quantités relativement petites serviront aussi à la production de méthane. Le résidu de cette dernière opération, contenant la plupart des sels nutritifs d'origine, sera probablement épandu sur des terres agricoles. Il est peu probable que, dans un avenir rapproché, la production de compost et de méthane utilise plus d'une fraction pourcent du fumier produit.

L'épandage de fumier de bétail ou de volaille sur les terres agricoles apporte non seulement les sels nutritifs nécessaires à la croissance végétale, mais exerce aussi des effets bénéfiques sur la couche arable. Les matières organiques contenues dans le fumier ou les produits de décomposition microbienne servent d'agents liants et stabilisent la structure du sol; elles conservent donc au sol la porosité souhaitée pour retenir l'eau et permettre la pénétration et le développement des racines des plantes. En Ontario, on craint présentement que beaucoup de terres, qui sont de plus en plus cultivées à des fins commerciales sans addition de fumier, soient en train de se détériorer et qu'il s'ensuive une réduction importante des rendements des récoltes. La teneur en matières organiques diminue aussi dans les terres des provinces des prairies. L'érosion, causée par la perte de structure et de stabilité, est l'une des principales sources d'inquiétude dans les Maritimes ainsi qu'en Ontario et dans les autres provinces. L'épandage judicieux de fumier pourrait réduire ces problèmes.

L'épandage de fumier sur les sols canadiens pose un problème important: celui de la répartition. Dans certaines régions, des quantités excessives de fumier sont épandues alors que la plupart des sols canadiens en reçoivent peu ou pas du tout. Cela vient de la tendance croissante à concentrer la production du bétail et de la volaille dans une région et même dans une ferme. Même si certaines personnes cultivant des espèces commerciales reconnaissent la valeur du fumier et paient le plein prix pour son transport, la distance sur laquelle le fumier peut être transporté économiquement est limitée à quelques milles. L'augmentation du prix des engrais et notre conscience

croissante de la détérioration du sol ne feront augmenter cette distance que relativement peu. Les coûts, en termes d'énergie, de la déshydratation ou de toute autre transformation du fumier en une forme plus transportable resteront prohibitifs. Il semble donc que les problèmes de répartition persisteront. Les sections suivantes résument les effets du fumier sur les propriétés du sol et servent de base à la discussion dans la Section 2.3.

2.2.1 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SOL

L'épandage de fumier augmente évidemment la teneur du sol en matière organique. Celle-ci et, peut-être davantage, ses produits de décomposition microbienne réagissent avec les particules minérales du sol pour en augmenter l'agrégation et la stabilité des agrégats formés. Guttay et al. (1956) ont trouvé que l'amendement du sol avec du fumier de stabulation et du mélilot pendant presque 20 ans faisait augmenter la proportion d'agrégats de diamètre supérieur à 0,5 mm, soit de 37,5% à 60,4%. Hafez (1974) a constaté que l'amendement avec divers types de fumiers suivi d'une incubation de trois semaines faisait augmenter l'agrégation des particules du sol en granules de taille supérieure à 0,25 mm. En plus d'augmenter la proportion des agrégats de taille supérieure, l'addition de fumier peut augmenter la stabilité des agrégats déjà présents (Bhatnagar 1979) (voir Tableau 2-5).

Le tamisage à sec a montré que le fumier ne modifiait pas la proportion des agrégats dans les différentes fractions granulométriques. Cependant, il y avait augmentation importante de leur stabilité à l'eau, surtout aux taux d'épandage plus élevés. Cet effet se produisait quelques jours après l'épandage et pouvait durer jusqu'à 275 jours; pendant ce temps, le sol était soumis à des cycles hebdomadaires d'arrosage et de séchage et était brassé quelque peu. Bien que les taux d'épandage dépassent ceux utilisés d'habitude dans les champs, l'application répétée à des taux plus faibles devrait augmenter tout autant la stabilité des agrégats.

Cet effet du fumier sur la taille et la stabilité des agrégats influera sur plusieurs propriétés du sol qui sont importantes pour la croissance végétale. L'augmentation de la proportion d'agrégats de plus grande taille s'accompagne de l'augmentation du nombre de pores plus grands. Ainsi, il y a augmentation du taux d'infiltration et de percolation de l'eau, du taux d'échange d'oxygène et du taux d'élimination de gaz toxiques de la zone des racines. Cela permet aux racines de pénétrer plus loin dans le sol, ce qui augmente le volume de sol et la quantité d'eau et de sels nutritifs utilisables par les racines. L'importance de cet effet dépend du type de sol et de son état initial. Les sols à texture grossière (sables et limons sableux) présentent rarement une faible perméabilité; ils bénéficieraient donc moins d'une augmentation de l'agrégation que les sols à texture fine dont la perméabilité est en général faible. Les terres assolées, y compris celles servant à la culture du gazon, ont d'habitude une

Tableau 2-5. Effet de l'épandage de fumier de volaille liquide sur la stabilité à l'eau d'agrégats de sol (Bhatnagar 1979).

Taux d'addition	Pourcentage d'agrégats stables à l'eau après un séjour de			
	27 jours	65 jours	93 jours	235 jours
$t.ha^{-1}$				
0	29,7	27,4	30,6	29,2
25	35,9	29,1	32,2	35,8
50	39,0	31,9	34,9	37,0
100	44,0	34,2	36,7	35,2
200	45,9	49,1	55,9	53,0
400	50,5	78,4	65,3	59,6

structure bien meilleure que les terres cultivées continuellement; elles profiteraient donc moins de l'épandage.

En plus d'influer sur la perméabilité du sol, l'épandage de fumier augmente d'habitude la capacité de retenir l'eau disponible. On définit l'eau disponible dans le sol comme celle retenue en dépit de la gravité mais qui peut être extraite par les plantes. Les pressions de rétention sont comprises à peu près entre 10 et 1500 kPa (-0,1 et -15 bars), ce qui correspond à la rétention dans des pores dont le diamètre varie de 60 à 0,2 µm. À cause de son influence sur l'agrégation, le fumier peut augmenter le nombre de pores de cette taille, mais il peut réduire l'espace interstitiel total en diminuant la proportion de pores se drainant facilement (c.-à-d. les pores dont le diamètre dépasse 60 mm). Le fumier augmente aussi la capacité de rétention d'eau des sols car, à masse égale, la capacité de rétention d'eau des matières organiques est plusieurs fois celle des sols minéraux. Cet effet est particulièrement important dans les sols sableux dont la teneur en matières organiques est en général faible.

L'accroissement de stabilité des agrégats causé par l'épandage de fumier augmente la résistance du sol au compactage et à la formation de croûtes (Hafez 1974). Nuttall (1970) et Hafez (1974) ont constaté, par des mesures en laboratoire du module de rupture, que le fumier réduisait les forces nécessaires au bris de la croûte terrestre. Ces valeurs expérimentales ont été reliées à la levée des plants.

La réduction de l'érosion par l'eau constitue un autre effet important de l'augmentation de la stabilité des agrégats provenant de l'épandage de fumier. Le processus d'érosion brise les particules de sol et entraîne les particules les plus fines dans l'eau de ruissellement. En augmentant la stabilité des agrégats de surface, le fumier diminue la désagrégation du sol. Le fumier augmente aussi l'infiltration d'eau (comme nous l'avons mentionné auparavant) et réduit donc la quantité d'eau de ruissellement.

Ces effets de l'utilisation de fumier (seul ou en mélange) sur les propriétés physiques du sol peuvent expliquer les nombreux cas où l'addition se traduisait par un accroissement de rendement supérieur à celui attribuable aux sels nutritifs du fumier (Swanson 1954; Bunting 1963; Ketcheson 1969).

2.2.2 DISPONIBILITÉ DES SELS NUTRITIFS

2.2.2.1 Azote

Le fumier contient des quantités considérables d'azote organique et inorganique.

Une part importante de l'azote sous forme de NH_4^+ peut être perdue par volatilisation lorsque le fumier est appliqué à la surface du

sol et qu'il n'est pas incorporé. La volatilisation est plus importante aux températures et aux pH élevés et aux faibles teneurs en humidité. Les pertes par volatilisation sont donc difficiles à prévoir, et seules quelques mesures directes ont été tentées in situ. Des études ont montré qu'on obtient des rendements supérieurs lorsque le fumier est incorporé dans le sol plutôt qu'épandu en surface (Beauchamp 1979). Cela est dû en partie à la volatilisation moindre du NH_3, bien qu'on ne puisse négliger d'autres facteurs comme l'amélioration des conditions physiques et la plus grande disponibilité du phosphore et du potassium.

Une fois en contact avec le sol humide, l'azote ammoniacal est rapidement transformé en nitrate (NO_3^-) selon le processus de nitrification représenté par l'équation suivante:

$$NH_4^+ \xrightarrow[\text{Nitrosomonas}]{} NO_2^- \xrightarrow[\text{Nitrobacters}]{} NO_3^-$$

Dans la plupart des conditions, la transformation du NO_2^- en NO_3^- est plus rapide que la transformation du NH_4^+ en NO_2^-. Le NO_2^- ne s'accumule donc normalement pas dans le sol. Cependant, des concentrations élevées de NH_3 peuvent inhiber sélectivement les Nitrobacters et causer l'accumulation de NO_2^- qui est très phytotoxique. Ces concentrations de NH_3 n'existent qu'aux endroits où les taux d'épandage sont très élevés ou aux endroits où il y a des masses de fumier non dispersées.

La fraction organique de l'azote du fumier est transformée en NH_4^+ par une grande variété de micro-organismes du sol. Comme la nature des composés contenant de l'azote varie grandement, il en va de même du taux de minéralisation. Le rapport C:N dans le fumier est de première importance: pour que les micro-organismes décomposant le fumier puissent scinder et libérer du NH_4 en quantités importantes, il faut que le rapport C:N soit inférieur à 20:1. Les fumiers contenant beaucoup de litière présentent un rapport C:N considérablement supérieur à 20. L'addition de ces matières au sol peut provoquer une baisse temporaire de l'azote disponible dans le sol à mesure que les micro-organismes s'y alimentent. Plus tard, l'azote sera lentement libéré lorsque le carbone sera transformé en dioxyde de carbone. Martin (1972) a expliqué par ce processus de mobilisation la différence entre la disponibilité de l'azote dans le fumier de bovin et le fumier de volaille, respectivement pauvres et riches en N.

Comme on l'a déjà mentionné, le N ammoniacal déjà présent et celui provenant de la minéralisation des formes organiques sont transformés rapidement en nitrates. Le NO_3^- ne réagit pas de façon importante dans le sol; il se déplace donc librement dans l'eau du sol. Il est rapidement lixivié de la zone des racines et entraîné dans la nappe phréatique. On a effectué beaucoup d'études théoriques et empiriques sur le taux de transport du $N\text{-}NO_3^-$ dans les sols et les

autres milieux poreux. Bien que le nitrate ne réagisse pas avec le sol, le processus de dispersion qui le fait diffuser dans l'eau retenue dans les petites pores des agrégats peut réduire de façon prononcée la vitesse globale de transport.

La dénitrification est une autre réaction que le NO_3^- subit dans le sol. Lorsque les quantités d'oxygène sont insuffisantes, certains micro-organismes se servent du O contenu dans les molécules de nitrate, ce qui provoque une transformation des nitrates en azote ou en oxyde nitreux. Ce processus se produit dans toutes les milieux où la quantité de O_2 a été diminuée soit par réduction de l'apport (p.ex. dans les sols détrempés) soit par l'utilisation rapide de cet élément (lors de l'épandange de grandes quantités de matières organiques facilement décomposables). Cette dernière condition survient lorsque de grandes quantités de fumier sont épandues sur des sols à texture moyenne ou fine, dans lesquels la diffusion de l'oxygène peut être limitée.

2.2.2.2 Phosphore

Dans le fumier, le phosphore existe à la fois sous formes organiques et inorganiques. Le P inorganique est adsorbé sur les particules du sol de la même façon que le P des engrais. La fraction organique est aussi adsorbée sur les particules du sol ou peut être physisorbée dans les agrégats du sol. A cause de sa nature, le P organique n'est pas immédiatement utilisable par les plantes. Par conséquent, l'épandange de fumier ne fera pas augmenter la quantité de P disponible dans le sol aussi rapidement qu'une quantité équivalente de P dans un engrais phosphaté. Bhatnagar (1979) a ajouté dans un loam silteux des quantités équivalentes de P sous forme de fumier de volaille liquéfié et de P inorganique; il a incubé le sol à 30°C en lui faisant subir des cycles d'humidification et d'asséchage hebdomadaires. Huit jours après l'épandage, la quantité de P extractible au $NaHCO_3$ était à peu près deux fois plus élevée dans les sols amendés avec la source inorganique. Cependant, après 27 jours d'incubation pour les faibles taux de P et 60 jours pour les taux élevés, les quantités de P extractibles étaient égales dans les deux cas. De plus, le P extractible sur les sols traités avec l'engrais inorganique diminuait avec le temps alors que c'était l'inverse dans le cas des sols amendés avec du fumier.

Des études à long terme ont aussi montré que l'addition de fumier augmentait tout autant la quantité de P extractible du sol qu'un amendement à des taux équivalents avec un engrais phosphaté. Comme le Tableau 2-6 l'indique, on a effectué à la Station expérimentale Rothamsted de Barnfield une étude échelonnée sur 117 ans, avec du fumier et du superphosphate. Le fumier et l'engrais phosphaté augmentaient à peu près également le P total et le P extractible au $NaHCO_3$. Le fumier augmentait le P soluble dans le $CaCl_2$ 0,01 M bien davantage que l'engrais phosphaté, ce qui concorde avec beaucoup d'autres études. Le

Tableau 2-6. Effets à long terme du fumier et du superphosphate sur la teneur en P à Barnfield, Rothamsted[α].

Taux annuel de P (de 1843 à 1959)		P extractible dans le sol		
Fumier	Engrais phosphaté	En équilibre dans une solution de $CaCl_2$ 0,01 M	$NaHCO_3$ 0,5 M	P total dans le sol
$t.ha^{-1}$	$kg\ P.ha^{-1}$	$mol.L^{-1} \times 10^6$	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$
0	0	0,6	23	780
31	0	13,2	83	1240
31	33	20,0	132	1840
0	33	1,9	66	1220

[α] La teneur en P du fumier était d'environ 40 $kg.ha^{-1}$ (Warren et Johnston 1962).

mécanisme responsable de cet effet n'est pas évident. On a proposé (Anderson et al. 1974) que la présence de phosphate organique favorise la formation de phosphate octacalcique, alors que les sources inorganiques de P donnent des produits de réaction moins solubles.

La plus grande solubilité des produits de réaction du P provenant du fumier a de nombreuses conséquences. L'absorption du P par les plantes est étroitement liée à la concentration du P en solution. Ainsi, même si la quantité de P extractible au $NaHCO_3$ est la même pour les deux sources, le taux d'absorption de P par les plantes devrait être supérieur dans le cas du fumier. Deuxièmement, le déplacement du P dans le sous-sol serait plus rapide dans le cas du fumier. Cooke (1967) a affirmé que, à Rothamsted, le P n'était lixivié dans le sous-sol qu'après épandage de fumier. Cet effet serait très bénéfique pour les cultures si la lixiviation est considérable. Enfin, il est probable que la teneur en P soluble dans le ruissellement provenant de champs amendés avec du fumier soit supérieure à celle de champs amendés avec une quantité équivalente d'engrais phosphatés.

Des indices observés récemment par Bhatnagar (1979) montrent que le phosphore ajouté dans le fumier est absorbé de façon préférentielle par les agrégats de grosses tailles. Comme le Tableau 2-7 l'indique, l'addition de P par épandage de fumier augmentait davantage la quantité de P extractible au $NaHCO_3$ des gros agrégats que celle des petits agrégats. Le P inorganique était absorbé de façon égale par les agrégats de toutes tailles.

2.2.2.3 Potassium

Dans le fumier, le potassium existe presque entièrement sous forme inorganique et est très soluble. Il se comporte donc de la même manière que les composés inorganiques des engrais.

2.2.2.4 Micro-éléments nutritifs

On traite au Chapitre 4 de la teneur du fumier en micro-éléments nutritifs et de leur effet sur les sols; on ne fera donc ici qu'un bref commentaire. Le fumier contient tous les éléments essentiels à la croissance végétale, et en général l'épandage du fumier prévient l'apparition d'une carence en micro-éléments nutritifs dans les sols où l'apport est marginal.

2.3 EFFETS AGRONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE L'ÉPANDAGE DE FUMIER

2.3.1 INTÉGRATION DE L'ÉPANDAGE DANS UN SYSTÈME DE CULTURE

On montre au Tableau 2-8 la valeur du fumier comme amendement de rechange des engrais, d'après les prix de 1980. Dans les faits, sa

Tableau 2-7. Quantité de P extractible au $NaHCO_3$ dans des agrégats obtenus par tamisage humide après incubation pendant 93 jours, pour diverses teneurs en P ajouté sous forme d'engrais phosphaté ou de fumier (Bhatnagar 1979).

Diamètre des agrégats	Teneur en P (µg P.g^{-1})					
	Engrais phosphaté			Fumier		
	0	50	100	0	50	100
mm	(µg de P extractible au $NaHCO_3$ par g)					
>4,8	9,7	18,7	23,2	9,5	22,3	36,7
2,0-4,8	9,2	17,7	26,7	9,5	19,0	30,8
1,0-2,0	8,6	17,3	27,7	9,0	16,8	27,3
0,25-1,0	8,8	17,3	25,7	8,5	15,2	23,0

Tableau 2-8. Valeur comme engrais du fumier produit par une vache laitière en 365 jours (basée sur les prix de 1980).

	Quantité produit kg		Valeur[α] $
Azote (N)	77		46,00
Phosphore (P)	15		20,00
Potassium (K)	67		19,00
		TOTAL	85,00

α En supposant que le N vaut 0,60 $.kg^{-1}, le P, 1,40 $.kg^{-1} et le K, 0,28 $.kg^{-1}.

NOTE: Une vache laitière produit environ 18 tonnes de fumier par année. La valeur de 4,75 $.t^{-1} du fumier non dilué est donc la valeur maximale en supposant des pertes nulles et une disponibilité de 100%. En pratique, la disponibilité pendant la première année suivant l'épandage est de 50% pour le N, de 40% pour le P et de 90% pour le K.

valeur dépend de la rétention de l'azote, du phosphore et du potassium dans le fumier. Les méthodes de gestion optimales diminuent les pertes d'azote et de potassium par lixiviation ainsi que des pertes d'azote par volatilisation, ce qui permet d'accroître fortement les avantages de l'épandage de fumier. Ces méthodes comprennent des systèmes de stockage et d'épandage qui minimisent les pertes, ainsi que l'épandage aux moments et aux taux les plus opportuns, en vue de tirer le plus des sels nutritifs présents. Les données du Tableau 2-8 illustrent l'importance du fumier animal, surtout au moment où nous sommes devenus plus conscients du besoin d'économiser l'énergie. En plus du N, du P et du K, le fumier apporte au sol de la matière organique et d'autres sels nutritifs.

L'incorporation du fumier frais dans le sol au taux pertinent minimise la perte de ses sels nutritifs. Dans les conditions canadiennes, cela n'est pas possible pendant une bonne partie de l'année. Il est donc important d'assurer un stockage adéquat pour empêcher la volatilisation de l'azote ammoniacal (qui se produit dans le cas du fumier solide conservé en vrac dans des conditions sèches) et pour empêcher la perte de l'azote et du potassium solubles par lixiviation dans le cas de fumières aux parois non imperméables surtout lorsque le fumier est exposé aux précipitations. Au cours d'une expérience effectuée à Ottawa, un mélange de fumier de vache et de cheval exposé aux intempéries a perdu 9% de matières organiques, 17% d'azote, 12% de phosphore (P_2O_5) et 33% de potassium (K_2O) de plus que le fumier stocké sur une période de 12 mois dans un hangar résistant aux intempéries (MacLean et Hore 1974). L'utilisation de fumier stocké plutôt que de fumier frais a certains avantages; entre autres, cette méthode laisse plus de latitude dans la planification globale de l'emploi du matériel et de la gestion de la ferme en fonction des conditions de température et de l'assolement.

La façon la plus efficace d'utiliser le fumier animal sur les sols agricoles doit être guidée par des décisions prises à la ferme même. Les facteurs dont il faut tenir compte comprennent le site comme tel et sa pente; les réserves du sol en sels nutritifs disponibles et sa perméabilité; les conditions climatiques; le type de culture et ses exigences en sels nutritifs; et l'apport de sels nutritifs présents dans le fumier. Gilbertson et al. (1979) ont préparé un manuel pour le compte du Département américain de l'agriculture et pour l'EPA américaine afin de les aider à mettre au point des directives de gestion relatives à l'utilisation des déchets animaux sur les sols cultivés et les pâturages. En général, l'approche et les techniques employées pour utiliser de façon efficace les engrais chimiques s'appliquent aussi au fumier, à la condition de tenir compte des différences de disponibilité des sels nutritifs, surtout de l'azote, dans les engrais et le fumier.

Le fumier devrait être incorporé au sol peu après l'épandage afin d'éviter la perte d'azote par volatilisation et la perte de phosphore et de potassium, ainsi que la perte d'azote dans les eaux de

ruissellement. Il est évident que cela devient important surtout dans le cas de terres en pente et de sols argileux imperméables soumis à l'érosion. On devrait éviter d'ajouter du fumier au sol gelé. Azevedo et Stout (1974) citent un résumé des données de Gilbertson et al. (1979), qui fait état d'une perte de 24% de l'azote du fumier quatre jours après l'épandage, en comparaison d'une perte de seulement 5% lorsque le fumier épandu était immédiatement incorporé au sol. L'azote des fumiers est libéré lentement selon un processus biologique, contrairement à celui des engrais qui peut servir immédiatement à la croissance végétale. Les fumiers contenant beaucoup de litières peuvent avoir un rapport C:N trop élevé (dépassant 20) pour que les composés organiques azotés libèrent de l'ammoniac en quantités dépassant les besoins des micro-organismes. On peut s'attendre à ce que, au début de la croissance, le fumier de volaille fournisse l'azote aux plantes de façon plus efficace que le fumier de vache laitière qui contient moins d'azote. D'autre part, en comparaison des engrais, le fumier animal libère plus lentement l'azote sur une période plus longue, vu que l'azote facilement soluble des engrais peut être lixivié des couches supérieures du sol et transporté en dessous de la zone des racines.

Après avoir fait une étude de la littérature où le fumier et les engrais chimiques étaient comparés dans de nombreuses expérience in situ, Azevedo et Stout (1974) ont conclu que l'efficacité de l'azote des fumiers à influer sur le rendement à court terme des cultures était d'environ 20 à 50% de celle de l'azote des engrais commerciaux. Par contre, on considérait que le phosphore et le potassium des fumiers étaient aussi efficaces que les formes présentes dans les engrais minéraux. Au cours d'une expérience à long terme effectuée à Ottawa, un traitement avec du fumier contenant beaucoup plus de sels nutritifs n'augmentait que légèrement le rendement en betterave fourragère, en orge, en trèfle et en fléole des prés cultivés avec assolement (Tableau 2-9). Par la suite, lors d'une expérience en pots avec de la terre provenant des parcelles expérimentales, le rendement en luzerne n'était que de 58% avec le sol amendé avec un engrais chimique par rapport à celui amendé avec de fumier. Il semblait que le fumier apportait plus de sels nutritifs, surtout de phosphore et de potassium, que l'engrais chimique. On connaît depuis longtemps l'apport à retardement d'azote causé par la nitrification de la matière organique du fumier; cependant, lors des expériences à court terme, l'efficacité du fumier à fournir de l'azote peut n'être que de 30-40% de celle des engrais chimiques (Azevedo et Stout 1974). Gilbertson et al. (1979) ont introduit des constantes de décomposition en vue d'évaluer l'accessibilité de l'azote du fumier pour les cultures (Tableau 2-10) (Pratt et al. 1973). Les constantes de décomposition du fumier de vaches laitières (0,50, 0,15, 0,05, 0,05) signifient que 50% de l'azote est accessible la première année, 15% la deuxième année et 5% la troisième et la quatrième année. Bien que ces constantes varient avec le climat et les conditions de culture, elles illustrent les différences de capacité des divers fumiers à fournir davantage d'azote facilement accessible la première année et des quantités moindres par la suite.

Tableau 2-9. Comparaison du fumier et d'un engrais pour une rotation de quatre ans sur un loam sableux à Ottawa, 1913-1952 (Cordukes et al. 1955).

Traîtement[α]	Betterave fourragère	Orge	Trèfle	Fléole des prés
	$t.ha^{-1}$	$L.ha^{-1}$	$t.ha^{-1}$	$t.ha^{-1}$
Fumier	48,1	5510	8,6	7,0
Engrais	45,7	5410	7,2	5,9

[α] Fumier - 24 $t.ha^{-1}$ pour la betterave fourragère; engrais - 73 kg de N, 24 kg de P et 35 kg de K pour rotation.

Tableau 2-10. Constantes de décomposition servant à évaluer l'accessibilité aux cultures de l'azote du fumier (Gilbertson et al. 1979).

Fumier	N dans le fumier (masse sèche)	Constantes de décomposition au cours des années suivant l'épandage			
		1	2	3	4
	%				
Volaille (poules)	4,5	0,90	0,10	0,05	0,05
Volaille (poulets à griller, dindes)	3,8	0,75	0,05	0,05	0,05
Porc	2,8	0,90	0,04	0,02	0,02
Vache laitière (frais)	3,5	0,50	0,15	0,05	0,05
Vache laitière (anaérobie)	2,0	0,30	0,08	0,07	0,05
Bouvillon (frais)	3,5	0,75	0,15	0,10	0,05
Bouvillon (enclos sec)	2,5	0,40	0,25	0,06	0,03
	1,5	0,35	0,15	0,10	0,05
	1,0	0,20	0,10	0,05	0,05

Si la quantité de fumier est limitée, il est préférable de l'épandre à un taux modéré et de compléter avec un engrais chimique. Ainsi, on peut régler l'apport des différents sels nutritifs de façon à obtenir les proportions optimales pour une culture donnée. Il est aussi avantageux d'utiliser le fumier pour les cultures qui exigent beaucoup d'azote (par exemple, pour le maïs et les herbes fourragères) plutôt que pour les fèves ou les céréales. Dans les sols sableux, où il peut y avoir lixiviation des sels nutritifs, le fumier peut constituer une meilleure source d'azote que les engrais chimiques. Pour les rotations plus longues, le fumier peut être utilisé plus efficacement si l'épandage est réparti entre une culture en rangées, comme le maïs, et une culture comme le foin qui vient après dans la succession de cultures. A l'ancien service de la Ferme expérimentale d'Agriculture Canada, on épandait fréquemment du fumier décomposé de bétail à raison de 9 t. ha^{-1} .a^{-1} (4 tonnes.$acre^{-1}$.a^{-1}), c.-à-d. que le maïs recevait 36 t (de fumier).ha^{-1} (16 tonnes . $acre^{-1}$). Aujourd'hui, dans de nombreuses fermes d'élevage intensif, l'élimination du fumier excédentaire cause des problèmes; en effet, la question est de savoir quelle quantité de fumier dépassant les besoins de la culture peut être ajoutée sans qu'il y ait infiltrations des sels nutritifs jusque dans la nappe phréatique ou dans les pièces d'eau à proximité.

2.3.2 ATTÉNUATION DES EFFETS ENVIRONNEMENTAUX

2.3.2.1 Effets nuisibles de l'excédent de fumier sur les sols et les cultures

Dans les sols fortement amendés avec du fumier, certaines espèces fourragères peuvent accumuler le N sous forme de NO_3 en quantité dépassant celle utilisée pour la production de protéines; les teneurs peuvent alors s'approcher de 0,30% (masse sèche), ce qui pourrait causer un empoisonnement au nitrate chez le bétail. Azevedo et Stout (1974) ont cité des exemples de toxicité de l'ammoniac dans des semences en germination et dans de jeunes plants après l'épandage de fumier de volaille à des taux de moyens à élevés. On a recommandé d'attendre quatre semaines entre l'épandage et les semis afin que l'ammoniac puisse se transformer en nitrate. Lorsqu'on répète l'épandage à des taux assez élevés pour assurer un apport d'azote suffisant aux besoins des cultures, en tenant compte des pertes d'azote pendant le stockage et l'épandage, le phosphore, le potassium et les autres éléments qui ne sont pas éliminés du fumier par volatilisation ont alors tendance à s'accumuler dans le sol, risquant ainsi de causer un déséquilibre des sels nutritifs. Par exemple, l'accumulation de potassium peut élever le rapport K:Mg dans le fourrage et ainsi favoriser l'incidence de la tétanie d'herbage chez la vache. Dans certaines cultures, l'accumulation de phosphore peut induire une carence en zinc. On a rapporté des exemples de dommages causés par des sels à la suite de l'épandage d'une grande quantité de fumier. Cependant, les sels solubles ne risquent guère de causer des problèmes dans les régions

arides irriguées, le cultivateur, par son expérience antérieure avec les sels, a les connaissances qu'il faut pour modifier ses méthodes en conséquence. Comme on l'a mentionné au Chapitre 4, il n'est pas probable que les éléments traces présents dans le fumier puissent poser des problèmes, si ce n'est le cuivre, à la suite d'épandage en grandes quantités de fumier de porc dont l'alimentation contenait du Cu comme stimulant de croissance.

2.3.2.2 Effets du fumier sur la qualité de l'eau

On a relié des cas de méthémoglobinémie infantile (bébé bleu) à la présence de nitrate dans l'eau potable, surtout dans les puits ruraux peu profonds. La teneur en azote sous forme de nitrate ne devrait pas dépasser 1 $mg.L^{-1}$. Lors d'une étude sur 484 puits en Ontario, Johnson (1955) a trouvé que dans 13,8% des puits l'eau contenait plus de 1 $mg.L^{-1}$ d'azote sous forme de nitrate. Dans les fermes, la présence de fumières près des puits constitue une source probable de contamination. Dans les parties basses des pâturages, on a fait état de cas d'empoisonnement au nitrate causé par l'eau destinée au bétail (Azevedo et Stout 1974). Lorsque les conditions biologiques sont favorables à la transformation en nitrate de l'azote du fumier, l'eau peut contenir des quantités élevées de nitrate provenant du fumier ou du nitrate dissous entraînés dans les dépressions par le ruissellement pluvial. Une teneur de 500 $mg.kg^{-1}$ en nitrate serait toxique. L'excès de nitrate dans les herbes des pâturages aggrave le problème.

La contribution du fumier à l'enrichissement des cours d'eau et des autres pièces d'eau en azote, en phosphore et en matières organiques est actuellement un problème encore plus grave. L'azote et le phosphore sont des sels nutritifs essentiels à la croissance des plantes aquatiques des pièces d'eau qui servent parfois à la pêche ou à d'autres loisirs. Les quantités d'azote et de phosphore qui limitent la croissance des algues seraient, estime-t-on, d'environ 0,3 et 0,01 $mg.kg^{-1}$ respectivement. A cause de sa nature, le fumier peut contribuer à la présence de matières organiques dans les eaux et augmenter leur DBO. La décomposition de cette matière organique par les microorganismes de l'eau réduit la teneur en oxygène du milieu aquatique. L'enrichissement des eaux avec des sels nutritifs provenant du fumier favorise la croissance des végétaux aquatiques dont la décomposition diminue encore plus l'apport en oxygène. La désoxygénation ou la diminution de la pression partielle de l'oxygène dans l'eau provoque la mort des poissons. Azevedo et Stout (1974) laissent entendre que l'élevage de bétail a été la cause de nombreuses hécatombes de poissons aux Etats-Unis. Dans certains cas, le fumier avait été épandu délibérément sur des champs inclinés vers des cours d'eau ou des rivières, causant ainsi des hécatombes de poissons jusqu'à 8 km en aval.

La pollution de l'eau par le fumier peut être causée par la lixiviation ou, ce qui est plus probable, par le ruissellement provenant

des étables et des parcs d'engraissement ainsi que du fumier épandu sur les sols. Le débordement des fosses à purin est une des causes fréquentes de déversement de fumier dans les fermes (les fosses négligées se remplissent d'eau de pluie et débordent).

(a) Étables et parcs d'engraissement: Ces endroits représentent les principales sources ponctuelles de pollution des voies d'eau par le fumier animal. S'il y a pollution, elle dépend de: l'exposition du fumier aux conditions climatiques (température favorable à la minéralisation de l'azote en particulier); le quantité et l'intensité des pluies; la topographie des lieux; les conditions du sol (la perméabilité favorise la lixiviation et l'imperméabilité favorise le ruissellement); et les conditions hydrologiques (profondeur de la surface de saturation et strates sous-jacentes influant sur le déplacement vertical et horizontal de l'eau contaminée). Ainsi, le choix de l'emplacement de la grange ou du parc d'engraissement, sa distance de toute voie d'eau et les conditions terrestres et hydrologiques favorables à la diminution de la lixiviation et du ruissellement sont de première importance. La structure la plus apte au stockage du fumier et les mesures utilisées pour prévenir la perte de sels nutritifs par lixiviation au ruissellement diffèrent d'une exploitation à l'autre. La structure et le mode de gestion des systèmes de manutention du fumier de boeuf de boucherie, de vache laitière, de porc et de volaille sont décrits et traités dans le Guide canadien pour l'usage des déchets d'origine animale (Canada Committee on Agricultural Engineering Services 1979). Dans la même publication, un résumé décrivait les programmes provinciaux relatifs aux règlements applicables aux techniques de gestion visant à limiter la pollution dans les fermes d'élevage.

Townshend et al. (1970) ont traité des problèmes des parcs d'engraissement en Ontario et de leur gestion. Les cas de contamination de l'eau par les parcs d'engraissement étaient causés en général par une mauvaise gestion. Au cours d'une étude d'une durée de quatre ans effectuée à la Ferme expérimentale centrale (Ottawa) sur deux installations ayant servi pendant 30 ans au stockage de fumier solide, l'une construite sur une base de béton, l'autre sur une base de gravier, on n'a trouvé aucun indice de contamination grave de la nappe phréatique par un excès de sels nutritifs (Sowden et Hore 1976). Aux deux endroits, la surface de saturation se trouvait en général à moins de 2,75 m de la surface. L'eau tirée de piézomètres situés à des profondeurs de 2,75 et 4,25 m près de la base de gravier présentait toujours une teneur faible en nitrate et en ammonium, mais il y avait parfois des quantités appréciables de nitrate dans l'eau à une profondeur de 1,22 m. L'eau prélevée à des profondeurs de 1,22 et de 2,75 m près de la base de béton contenait d'habitude du nitrate et de l'ammonium. Dans les piézomètres installés à un peu plus de 200 m des zones de stockage (dans le sens du courant de la nappe phréatique), l'eau contenait peu de nitrate ou d'ammonium. Selon les auteurs une bonne partie du nitrate provenant des installations de stockage était

dénitrifiée dans la surface de saturation ou près de celle-ci. Le nitrate provenant d'une cour d'étable (près de Guelph, Ontario) utilisée pendant 50 ans pour stocker du fumier, se déplaçait dans le même sens que la nappe phréatique, en suivant la pente de la roche de fond (Gillam et Webber 1969). Celle-ci se trouvait à une profondeur de 4,9 m, tandis que la surface de saturation était à 2,4 m. A une distance de 30,5 m en amont, l'eau n'était pas contaminée, alors qu'en aval il était nécessaire de parcourir une distance d'au moins 183 m avant d'obtenir de l'eau d'une qualité satisfaisante. Des données préliminaires obtenues il y a dix ans faisaient état de concentrations élevées d'azote et de phosphore dans le sol et dans la nappe phréatique sous des parcs d'engraissement situés au voisinage de Lethbridge (Alberta) ou près de ceux-ci, mais ces sels nutritifs se déplaçaient rarement plus de 122 m dans le sol (Research Station, Lethbridge 1971). Les risques de ruissellement depuis les puisards voisins des parcs d'engraissement causaient encore plus d'inquiétude, et l'on a proposé de dériver de ruissellement loin des cours d'eau et de le laisser s'infiltrer dans le sol.

Coote et Hore (1978) ont étudié le potentiel de ruissellement et de pollution dans deux parcs d'engraissement, l'un asphalté, l'autre non asphalté, et dans deux fumières, dans le sud de l'Ontario. Le ruissellement était constituée d'environ 60% d'eau de pluie, la quantité absorbée avant ruissellement étant en moyenne de 1,5 mm sur la surface asphaltée et de 7,1 mm sur l'autre surface. Le ruissellement depuis les fumières se produisait surtout en été lorsqu'elles étaient à peu près vides. La DBO dans le ruissellement était supérieure pour le parc d'engraissement asphalté (Tableau 2-11). Les concentrations de nitrate étaient très faibles, mais celles d'ammonium, de phosphore total et de phosphore soluble étaient élevées et représentaient une source potentielle de pollution. Les concentrations de phosphore étaient reliées aux quantités de matières solides totales dans le ruissellement. En contrôlant les eaux de la nappe phréatique peu profonde située à un niveau plus bas que le niveau d'un autre parc d'engraissement non asphalté, les mêmes auteurs ont trouvé que la concentration d'azote sous forme de nitrate augmentait avec la distance depuis le parc d'engraissement et qu'elle atteignait un maximum de 60 $mg.L^{-1}$ à une distance de 20 m. Cependant, dans la même zone, l'azote sous forme d'ammonium diminuait avec la distance depuis le parc d'engraissement. Il était évident que la nitrification était un processus dominant sur cette distance de 10-20 m. Il n'y avait aucun indice de contamination de la nappe phréatique par le phosphore.

Azevedo et Stout (1974) ont revu de nombreuses publications traitant de cas de pollution de l'eau provenant des corrals, des cours d'étable et des parcs d'engraissement; ils ont aussi traité de techniques de gestion destinées à limiter cette forme de pollution. Ils mettent l'accent sur l'importance de l'humidité du fumier. Par exemple, selon de nombreux indices des quantités importantes d'ammonium peuvent en conditions alcalines et sèches être volatilisées d'un parc

Tableau 2-11. Qualité de l'eau de ruissellement provenant de parcs d'engraissement et de fumières situés dans le sud de l'Ontario (valeur moyenne, en $mg.L^{-1}$) (Coote et Hore 1979).

Composante	Parcs d'engraissement		Fumières	
	Asphalté	Non asphalté	Avec litière	Sans litière
DBO	4971	1366	3243	2285
N (ammoniac)	264	86	411	240
N (nitrate)	0,97	0,53	0,81	0,47
P total	133	102	83	87
P soluble	53	47	39	42

d'engraissement et de déposer dans les eaux de surface environnantes. Dans les parc d'engraissement dont la surface est recouverte de béton, le ruissellement est plus important que dans ceux dont la surface nue et irrégulière peut retenir l'eau. Un fumier sec est difficilement mouillable et un fumier saturé d'eau favorise le ruissellement, mais un fumier humide absorbe une quantité considérable d'eau, ce qui diminue le ruissellement. Selon les auteurs, si la surface du corral est humide mais aérobie et que la surface sous-jacente est compacte et anaérobie, la nitrification est favorisée dans la zone superficielle et l'azote sous forme de nitrate est dénitrifié et perdu dans le système lorsqu'il atteint la couche sous-jacente.

(b) Épandage de fumier sur le sol: Le fumier est une ressource précieuse permettant de maintenir la fertilité du sol. Son emploi judicieux en agriculture est en harmonie avec la protection de la qualité de l'eau. Pour éviter la perte d'azote par volatilisation et la perte d'azote, de phosphore et de matière organique par ruissellement, le fumier doit être incorporé dans le sol peu après son épandage. Il existe des instruments capables d'injecter du fumier liquéfié dans le sol; la couche superficielle de sol empêche alors le ruissellement. En fait, on a observé que le fumier réduisait le ruissellement (Ripley et al. 1961).

On devrait porter une attention toute particulière aux modes d'utilisation du fumier sur des sols voisins d'un cours d'eau. L'épandage de fumier sur la surface d'un sol incliné en direction d'un cours d'eau, sur un champ d'inondation ou sur un sol gelé contamine les pièces d'eau voisines. La présence d'une zone tampon constituée d'une bande gazonnée entre la voie d'eau et le sol fortement amendé avec du fumier peut minimiser de façon efficace la pollution de l'eau. On devrait aussi mentionner les excréments laissés par les animaux dans les pâturages. Les quantités de sels nutritifs présents dans le fumier ne compensent pas celles retirées du pâturage par les animaux, mais la concentration du bétail peut laisser des quantités importantes de fumier près d'un cours d'eau. Ce fumier peut parvenir jusqu'à l'eau et s'ajouter aux matières fécales laissées par les animaux s'abreuvant directement dans le cours d'eau. Il est évident que le bétail ne devrait pas avoir accès directement à une pièce d'eau.

Pour minimiser la lixiviation des sels nutritifs, particulièrement de l'azote sous forme de nitrate, et pour éviter la contamination de la nappe phréatique, le taux d'épandage devrait être basé sur la qualité du fumier et sur les besoins en sels nutritifs d'une culture donnée en tenant compte des réserves de sels nutritifs dans le sol cultivé, y compris l'azote résiduel provenant des épandages précédents. Les services d'analyse des sols ainsi que les renseignements et les recommandations provenant des ministères responsables de l'agriculture et de l'environnement peuvent aider les cultivateurs à modifier leur technique de gestion de façon à éviter l'épandage de plus de fumier qu'il n'en faut pour la culture.

Cependant, il y a lieu de noter que le phosphore est assez immobile dans les sols minéraux et qu'il ne se déplace pas facilement dans les horizons du sol pour contaminer la nappe phréatique. Dans le sol, l'ammonium participe à des réactions d'échange et il peut être lié, surtout dans les argiles. De plus, il existe un nombre considérable d'indices montrant que le nitrate lixivié dans les couches anaérobies sous-jacentes du sol peut être dénitrifié et s'échapper dans l'atmosphère au lieu de contaminer la nappe phréatique.

Ainsi, on voit qu'une bonne gestion permet de se servir de fumier pour satisfaire aux besoins des cultures sans nuire à la qualité de l'eau. Cependant, avec l'intensification actuelle de la production de bétail et de volaille, la quantité de fumier dépasse souvent les besoins des terres associées à cette production. Pour éliminer l'excès de fumier, on a proposé de l'épandre sur des cultures de maïs et des cultures fourragères à des taux allant jusqu'à un maximum correspondant à une quantité d'azote supérieure aux besoins de l'espèce cultivée mais sans effet sur le rendement ou la qualité de l'eau (Webber et Lane 1969; Barnett 1975). Il va sans dire que le taux maximum admissible varie avec les conditions climatiques et les conditions du sol. Les sols dont la surface de saturation est profonde, dont les couches sous-jacentes sont imperméables, donc moins susceptibles à la lixiviation, et dont les conditions favorisent la dénitrification sont les plus propices à l'élimination du fumier excédentaire.

On a effectué à la Ferme expérimentale centrale (d'Ottawa) une expérience d'une durée de 5 ans sur le taux et le moment d'épandage de purin de vache laitière sur un loam sableux recouvrant un loam argileux situé à une profondeur de 0,8 m, servant à la culture du maïs (Phillips et al. 1981). Dans quatre cas de ruissellement au début du printemps provenant de sols amendés avec du fumier durant l'hiver, alors que la terre était gelée, les concentrations d'azote et de phosphore dans les eaux provenant de la fonte des neiges augmentaient de façon appréciable avec le taux d'épandage (Tableau 2-12). La concentration de phosphore dans l'eau de ruissellement augmentait avec le taux d'épandage, même lorsque le fumier était enfoui à la charrue. Le moment de l'épandage n'influait nullement sur la concentration de sels nutritifs dans l'eau de ruissellement lors de deux orages en juin; cependant, la concentration de nitrate et d'azote ammoniacal augmentait légèrement avec le taux d'épandage dans les eaux provenant de parcelles amendées au printemps, mais non dans les eaux provenant des autres parcelles. La concentration de phosphore augmentait régulièrement avec le taux d'épandage. La teneur moyenne en P pour les trois épandages était de 0,12 $mg.L^{-1}$ dans la parcelle témoin, en comparaison de 1,07 $mg.L^{-1}$ pour le taux le plus élevé de phosphore, soit un taux de 218 $kg.ha^{-1}.a^{-1}$. Au cours de trois orages printaniers, la concentration de sels nutritifs dans l'effluent de drains en ardoise n'était pas modifiée par le moment de l'épandage. Pour les trois épandages, la concentration moyenne de nitrate augmentait de 8,4 $mg.L^{-1}$ dans l'effluent provenant de la parcelle témoin, à 20,8 $mg.L^{-1}$ dans l'effluent de parcelles amendées au

Tableau 2-12. Concentration moyenne d'azote et de phosphore dans l'eau provenant de la fonte des neiges dans quatre cas de ruissellement à partir de parcelles amendées au purin de vache laitière à différents moments et à différents taux d'épandage (Ottawa)[α].

Sel nutritif dosé	Sels nutritifs ajoutés $kg.ha^{-1}.a^{-1}$	Moment de l'épandage[β]		
		Automne	Hiver	Printemps
	Azote			
$N(NO_3 + NH_4)$	0	2,9	2,9	2,9
$mg.L^{-1}$	227	-	6,6	4,0
	555	5,0	12,5	3,4
	892	2,0	26,5	5,3
	Phosphore			
$P(PO_4)$				
$mg.L^{-1}$	0	0,06	0,06	0,06
	53	0,25	2,25	0,65
	136	0,84	3,54	0,30
	218	0,75	11,16	0,81

[α] Tiré avec modification de Phillips et al. (1981).

[β] Sauf dans le cas de l'épandage hivernal, le fumier a été immédiatement enfoui à la charrue.

taux d'azote élevé (892 $kg.ha^{-1}.a^{-1}$). Les données relatives à la concentration de phosphore dans l'effluent de drainage étaient incohérentes, mais en moyenne pour tous les taux et tous les moments d'épandage, la concentration était de 0,07 $mg.L^{-1}$ par rapport à seulement 0,01 $mg.L^{-1}$ dans la parcelle témoin. En résumé, le ruissellement printanier était enrichi en phosphore et en azote solubles par suite d'amendement hivernal. Il y avait certains indices d'enrichissement en azote ainsi qu'en phosphore soluble de l'effluent de drainage des parcelles amendées.

2.3.2.3 Apport dans les pièces d'eau de sels nutritifs provenant de l'élevage du bétail

Jusqu'ici, la discussion a surtout porté sur la perte de sels nutritifs des déchets animaux en fonction des conditions existantes et des techniques de gestion d'une exploitation agricole considérée comme un tout. Il est important de minimiser à la source des contaminants potentiels d'un cours d'eau. Lorsqu'on cherche à déterminer la cause de l'enrichissement d'une pièce d'eau en sels nutritifs, il faut tenir compte de l'apport collectif de sels nutritifs provenant de plusieurs fermes, d'un bassin secondaire, d'un bassin ou d'un bassin versant. Il y a quelques années, le Groupe d'étude de la pollution causée par les activités liées à l'utilisation des terres, groupe qui relève de la Commission mixte internationale, a abordé ce point; divers chercheurs ont ensuite effectué des études en Ontario. On mentionnera quelques projets traitant de la pollution de l'eau due à l'élevage du bétail. Les constations signalées ne sont pas nécessairement endossées par les auteurs.

Patni et Hore (1978) ont étudié le déplacement de l'azote et du phosphore vers les eaux superficielles et les eaux souterraines dans de grosses installations d'élevage de bétail à la ferme de la ceinture verte du Centre de recherches zootechniques d'Agriculture Canada à Ottawa. L'épandage de fumier au printemps et à l'automne au taux de 500 kg (de N).$ha^{-1}.a^{-1}$ pendant 3 ans sur des parcelles plates constituées d'un sol à texture fine et destinées à la culture de maïs ne causait pas une trop grande détérioration de la qualité des effluents de drainage, mais seulement lorsque de faibles taux d'azote avaient été ajoutés au cours des années précédentes. La qualité de l'eau des effluents de la zone cultivée de façon intensive (sol plat à texture fine, drains d'ardoise) n'était en général pas altérée au point d'être inacceptable. Cependant, selon le flux, des quantités substantielles d'azote pourraient être perdues avec le ruissellement printanier.

Au cours d'une autre étude, on a établi 26 stations d'échantillonnage afin de contrôler l'apport aux eaux de surface des sels nutritifs provenant de 17 fermes d'élevage (porcs, boeufs et vaches laitières et animaux témoins utilisés à des fins autres que l'élevage) dans le bassin secondaire de la Petite rivière Ausable dans le sud-ouest

de l'Ontario (Beak Consultants Limited 1977). Il n'y avait pas de différence significative entre les pertes d'azote depuis les zones d'élevage du bétail et les zones témoins: on estime que les pertes d'azote moyennes étaient de 45 $kg.ha^{-1}.a^{-1}$. Les pertes de phosphore depuis les zones témoins ont été évaluées à 0,33 $kg.ha^{-1}.a^{-1}$ en comparaison de 0,33-2,33 $kg.ha^{-1}.a^{-1}$ pour les zones d'élevage. La plus grande partie de la perte de phosphore se produisait au printemps par suite de la fonte des neiges et des averses de pluie. La perte d'azote se faisait surtout en hiver et au printemps. Selon les auteurs, les pertes de phosphore étaient reliées à la distance entre le zone traitée et le cours d'eau, à un drainage souterrain insuffisant, à l'épandage hivernal de fumier à proximité des cours d'eau ou sur la plaine inondable, au passage d'un cours d'eau dans un pâturage libre et à l'emplacement des parcs d'engraissement et des fumières. La perte de phosphore semblait dépendre davantage des techniques de gestion que du type et de la densité de la population animale.

Robinson et Draper (1978) ont mis au point un modèle afin d'évaluer les apports de phosphore dans les Grands Lacs à partir de parcs d'engraissement, d'étables, de fumières et des parcelles amendées en hiver. Dans un autre modèle mis au point pour les terres cultivées, on a aussi inclus le ruissellement depuis des parcelles non gelées amendées au fumier. On a aussi tenté d'évaluer séparément l'apport dans les cours d'eau par le bétail en pâturage. L'apport de phosphore était calculé d'après les données sur le type et le nombre d'animaux élevés. Lorsqu'on a appliqué le modèle au bassin des Grands Lacs ontariens, on a évalué l'apport de phosphore à 0,08 ou 0,22 kg par animal selon qu'on supposait une distance d'atténuation complète de 30,5 m ou de 122 m pour le transport à la surface du sol. D'après la moyenne de ces deux valeurs, on a évalué à 318 t l'apport annuel en phosphore total dans les Grands Lacs provenant du bétail élevé dans le bassin ontarien. On a conclu que des mesures correctives visant à empêcher le ruissellement depuis les étables et les parcs d'engraissement situés à 100 m des cours d'eau et l'élimination de l'épandage hivernal de fumier près de ces cours d'eau diminueraient beaucoup l'apport en phosphore d'origine animale.

3.0 GAZ ET ODEURS ÉMANANT DU FUMIER

J.B. McQuitty[α] et A.J. MacLean[β]

Dans les installations de traitement, le fumier liquide, entreposé dans des bassins de rétention, des citernes et des étangs, subit une décomposition anaérobie s'accompagnant de la production de gaz (qui peuvent menacer la santé des humains et des animaux) et d'odeurs désagréables. La littérature portant sur les gaz émanant du fumier dans les parcs d'animaux a été étudiée en détail par Nordstrom et McQuitty (1976). Par la suite, McQuitty et Feddes (1978) ont appliqué l'information recueillie à la gestion du fumier en soulignant que les gaz qui s'en dégageaient étaient dangereux (à ce sujet, on mentionnait qu'en octobre 1982 un ouvrier agricole de l'est de l'Ontario, rendu inconscient par les gaz toxiques, s'était noyé dans un réservoir à fumier). Une discussion concise à ce sujet dans le Guide canadian pour l'utilisation des fumiers (Canada Committee on Agricultural Engineering Services 1979) reflète l'état actuel des connaissances dans ce domaine. Dans le présent document, on utilisera surtout les publications mentionnées ci-dessus comme source de renseignement.

3.1 GAZ

Un certain nombre de gaz nocifs et de composés volatils sont produits par les micro-organismes anaérobies qui décomposent les protéines, les hydrates de carbone et les graisses se trouvant dans la portion organique du fumier liquide (Figure 3-1). Le H_2S, le NH_3, le CH_4 et le CO_2 sont les gaz qui soulèvent le plus d'inquiétude dans les étables. Non seulement les gaz peuvent s'échapper du fumier en décomposition, mais les animaux peuvent aussi produire des quantités appréciables de CH_4 et de CO_2. Une vache, par exemple, peut produire jusqu'à 50 L de CH_4 et environ 300 L de CO_2 par jour, principalement par éructation (Blaxter 1962). Les émanations gazeuses sont plus importantes lorsque la température est élevée et sont influencées par la concentration d'ions hydrogène. On a résumé au Tableau 3-1 certaines propriétés de ces gaz et leur effet physiologique sur les humains.

3.1.1 GAZ ASPHYXIANTS

Le CO_2 et le CH_4 sont des gaz asphyxiants. Le dioxyde de carbone ne présente pas un grave problème dans les étables. Dans les

---

α Professeur au département de génie agricole de l'université de l'Alberta, Edmonton (Alberta) T6G 2G6.

β Ancien chercheur d'Agriculture Canada, Ottawa, Ontario.

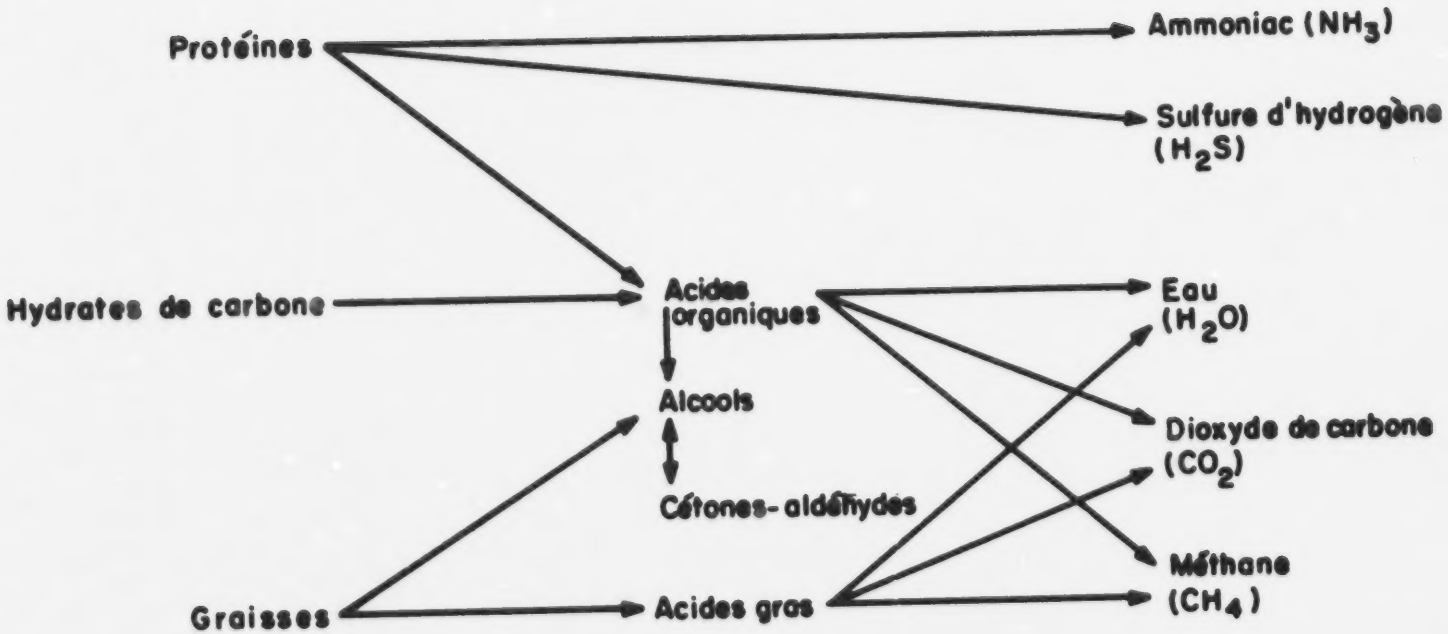


Figure 3-1. Décomposition anaérobie des matières organiques du fumier (Barber et McQuitty 1974).

bâtiments ventilés normalement, la concentration de CO_2 semble être de l'ordre de 500-2000 $\mu L.L^{-1}$ mais peut s'élever à 3000 $\mu L.L^{-1}$ au niveau de l'animal lorsque l'on agite le fumier (McQuitty et Feddes 1978). On ne considère pas non plus que le méthane est dangereux dans les bâtiments aérés normalement. Le CO_2 et le CH_4 agissent en éliminant l'oxygène disponible dont le niveau ne devrait jamais tomber en dessous de 18% en volume. Le CH_4 accumulé risque aussi de s'enflammer et d'exploser, ce qui est plus important encore. Le CH_4 peut s'accumuler en grande quantité sous le toit des entrepôts de fumier. Par mesure de sécurité, il faut interdire d'utiliser une flamme et de fumer au voisinage de ces installations; il faut en outre utiliser des moteurs électriques antidéflagrants. Il est aussi important de bien aérer ces bâtiments, en particulier les étables qui ont servi à entreposer le fumier puis sont restées vides sans aération pendant un certain temps.

3.1.2 GAZ IRRITANTS

L'ammoniac et le H_2S sont des gaz irritants. L'ammoniac irrite les tissus humides, en particulier les yeux et les voies respiratoires. Dans les étables bien aérées, on trouve des concentrations de l'ordre de 10-20 $\mu L.L^{-1}$ qui peuvent atteindre plus de 100 $\mu L.L^{-1}$ lorsqu'on agite le fumier avant de le rejeter. Il est peu probable que le NH_3 exerce des effets aigus dans les étables et les entrepôts. Néanmoins, il semble que des concentrations subaiguës de NH_3 puissent avoir un effet néfaste sur les animaux et leur production. En présence de poussière, des concentrations de 50 $\mu L.L^{-1}$ de NH_3 semblaient faire diminuer l'augmentation quotidienne du poids des cochons et augmenter l'incidence et la gravité des pneumonies (McQuitty et Feddes 1978). D'après ces auteurs, une concentration supérieure à 20 $\mu L.L^{-1}$ dans les étables est probablement néfaste. Ils font état d'incidents intéressants s'étant produits à l'occasion, dans des porcheries où le NH_3 formait apparemment une solution avec la vapeur d'eau condensée sur les surfaces froides, puis s'oxydait en nitrate et autres composés formant de la méthémoglobine et dont l'ingestion pourrait s'avérer mortelle. Pour éviter tout excès de NH_3, il est bon d'éliminer rapidement le fumier, de prévoir un sol incliné pour faciliter le drainage et d'assurer une litière abondante et une bonne ventilation.

Le sulfure d'hydrogène est le plus dangereux des gaz émanant du fumier. Il est à l'origine de la mort d'humains et d'animaux au Canada et dans d'autres pays. Il est surtout libéré par l'agitation du fumier liquide qui peut produire des concentrations mortelles dépassant 1000 $\mu L.L^{-1}$. Des concentrations de 2 à 5 $\mu L.L^{-1}$, difficilement décelables, sont courantes. Dans le cas d'une exposition aiguë, le H_2S est toxique et provoque une paralysie respiratoire. En concentrations plus faibles, il irrite de façon variable les yeux et les voies respiratoires. On soupçonne qu'une exposition constante à des concentrations de H_2S de seulement 1 à 2 $\mu L.L^{-1}$ rende le bétail malade et réduise sa productivité. Par mesure de sécurité, il faut éviter

Tableau 3-1. Propriétés des principaux gaz émanant du fumier et réponse physiologique chez l'humain adulte[α] (Guide canadien pour l'utilization des fumiers).

Gaz	Densité[β]	Odeur	Couleur	Affinité pour l'eau	Limites d'inflammabilité[γ] (% en volume)		Seuil admissible d'exposition[δ] $\mu L.L^{-1}$[ε]	Écart admissible[ζ]	Limite pondérée en fonction du temps[η] $\mu L.L^{-1}$	Concentration du gaz en $\mu L.L^{-1}$ et réponse physiologique
					Inférieure	Supérieure				
Ammoniac (NH_3)	0,6	Forte et âcre	Incolore	Extrêmement soluble	15,5	27,0	25	1,5	37,5	IRRITANT 5-50 - seuil de perception olfactive 100-500 - irrite les muqueuse en une heure 400-700 - irritation immédiate des yeux, du nez et de la gorge 2000-3000 - grave irritation des yeux, toux, écume à la bouche, peut être fatal 5 000 - spasme respiratoire, asphyxie rapide pouvant être fatale 10 000 - rapidement fatal
Dioxyde de carbone (CO_2)	1,5	Aucune	Incolore	Moyennement soluble	-	-	5000	1,25	6250	ASPHYXIANT 20 000 - sans danger 30 000 - respiration accélérée 40 000 - étourdissement et maux de tête 60 000 - respiration asphyxique pénible 300 000 - peut être fatal (en 30 minutes)
Sulfure d'hydrogène (H_2S)	1,2	Odeur désagréable d'oeufs pourris	Incolore	Extrêmement soluble	4,3	45,5	10	2	20	POISON 0,01-0,7 - seuil de perception olfactive 3-5 - odeur désagréable 10 - irritation des yeux 20 - irritation des muqueuses et des poumons 50-100 - irritation des yeux et des voies respiratoires (exposition d'une heure)

Tableau 3-1. (suite)

Gaz	Densité[β]	Odeur	Couleur	Affinité pour l'eau	Limites d'inflammabilité[γ] (% en volume) Inférieure	Supérieure	Seuil admissible d'exposition[δ] µL.L^{-1}[ε]	Écart admissible[ζ]	Limite pondérée en fonction du temps[η] µL.L^{-1}	Concentration du gaz en µL.L^{-1} et réponse physiologique
Méthane (CH_4)	0,6	Aucune	Incolore	Légèrement soluble	5,0	15,0	-	-	-	150 - paralysie des nerfs olfactifs, fatal en 8-48 heures 200 - étourdissement (1 heure), dépression du système nerveux 500-600 - nausée, excitation, inconscience, mort possible (30 minutes) 700-2000 - rapidement fatal ASPHYXIANT 500 000 - Mal de tête, non toxique

[α] Source: Nordstrom, G.A. et J.B. McQuitty. 1976. Manure gases in the animal environment - a literature review. Research Bulletin 76-1, Department of Agricultural Engineering, University of Alberta, Edmonton (Alberta), 80 p. 115 ref.

[β] Densité: rapport de la masse d'un volume de gaz pur à celle du même volume d'air atmosphérique. Si cette valeur est inférieure à 1,0, le gaz est moins dense que l'air; si elle est supérieure à 1,0, il est plus dense que l'air.

[γ] Limites de la plage de concentrations d'un mélange gaz/air atmosphérique pouvant s'enflammer ou exploser au contact d'une flamme ou d'une étincelle. Source: R.C. Weast (Ed.), 1973-1974. Handbook of Physics and Chemistry, 54[e] édition, CRC Press, Cleveland.

[δ] Le seuil admissible d'exposition (S.A.E.) est le niveau auquel les travailleurs peuvent être exposés de façon continue 8 heures par jour et 40 heures par semaine sans apparemment être affectés.

[ε] µg.L^{-1} de gaz l'air atmosphérique; pour convertir la concentration de gaz en pourcentage par volume, diviser par 10 000 la valeur en µL.L^{-1}.

[ζ] Écart admissible au-dessus du SAE.

[η] La limite moyenne pondérée en fonction du temps (MPT) est égale au produit de la concentration maximale admissible pour un SAE sur une courte période et de l'écart admissible.

NOTE: En présence d'au moins deux gaz dangereux et en l'absence d'indication contraire, on considère que l'effet des gaz s'additionne: autrement dit, si la somme de $\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \ldots + \frac{C_n}{T_n}$ dépasse 1,0, on doit alors considérer que le SAE du mélange a été dépassé, où

C = concentration observée dans l'atmosphère et T = SAE correspondant à chaque gaz, N.

d'agiter le fumier liquide lorsque l'on vide les réservoirs à l'intérieur des étables, sinon il faut faire sortir le bétail. Dans tous les cas, la ventilation doit être maximale pendant la vidange des réservoirs.

3.1.3 EFFETS SUR LES HUMAINS ET LES ANIMAUX

Le danger des gaz émanant du fumier pour les humains se traduit par des accidents mortels s'étant produits au Canada et au Royaume-Uni lorsque des ouvriers agricoles sont entrés dans des réservoirs à fumier (Nordstrom et McQuitty 1976). Les effets de concentrations croissantes de ces gaz sur les humains sont résumés au Tableau 3-1. Les concentrations admissibles dans les étables n'ont pourtant pas été établies; les directives actuelles sont basées sur les données s'appliquant aux humains. Cependant, il faut souligner que les animaux sont confinés et exposés continuellement à ces gaz sans pouvoir s'échapper. Il serait bon d'étudier les effets de chaque gaz sur des espèces différentes et d'évaluer les concentrations admissibles.

On a beaucoup étudié la création de conditions artificielles pour la décomposition aérobie du fumier, processus pratiquement inodore ne produisant pas de gaz dangereux, mais le prix de revient élevé à cause du climat froid limite sérieusement l'avenir de cette solution (McQuitty et Feddes 1978). Dans les recherches sur les sources d'énergie renouvelables, on a étudié la digestion anaérobie du fumier pour produire du méthane. Il s'agit d'une méthode pratique permettant de traiter les agricoles et de réduire les odeurs qui s'en dégagent (Kennedy et al. 1981; van den Berg 1980; van den Berg et Kennedy 1981). Plusieurs autres méthodes s'annoncent prometteuses, par exemple (a) l'inhibition de la production des gaz nocifs comme le H_2S en éliminant ou en réduisant au minimum l'activité de la bactérie qui le produit et (b) la transformation du gaz en une forme moins désagréable avant qu'il ne soit libéré du fumier, par ionisation chimique, oxydation ou précipitation.

3.2 ODEURS

Des gaz étudiées, seuls le NH_3 et le H_2S dégagent des odeurs; celle du NH_3 est forte et âcre et celle du H_2S ressemble à l'odeur d'oeufs pourris. L'analyse chromatographique des substances volatiles se trouvant dans les déchets laitiers (White et al. 1971) a révélé la présence de H_2S et de plusieurs composés organiques; le sulfure de diméthyle était le principal composé à l'origine de l'odeur des déchets laitiers en milieu anaérobie. Bulley (1977) a présenté une évaluation critique des méthodes sensorielles utilisées pour évaluer les odeurs émanant du bétail. Ces méthodes qui comptent sur le système olfactif humain sont subjectives, mais les autres tentatives visant à mesurer les odeurs à l'aide de techniques physiochimiques n'ont pas été très

réussies. De toute façon, il faudrait encore confirmer les résultats par méthode olfactive. En décrivant les méthodes sensorielles, l'auteur insiste beaucoup sur le prélèvement et la manipulation des échantillons qui sont examinés par un groupe d'évaluateurs, sur la réaction produite, son interprétation et sur la présentation des résultats. "Tant qu'on n'aura pas étudié plus attentivement le mode de sélection de la méthode sensorielle à utiliser, la méthode de prélèvement des échantillons, le mode de sélection du group, la façon de présenter le gaz odorant au groupe, la réaction du groupe et la présentation des méthodes d'évaluations, beaucoup de temps et d'efforts seront perdus" dit-il.

Les odeurs ne constituent pas tant un danger pour la santé qu'une nuisance qui peut être éliminée par des mesures appropriées. L'élimination du fumier et l'application de mesures d'hygiène normales dans les étables réduiront beaucoup les odeurs. Le désagrément pouvant être causé au public peut être éliminé en plaçant les étables à un endroit approprié par rapport aux terrains voisins. La distance ainsi que la direction du vent sont des facteurs importants. On peut éliminer les odeurs en épandant le fumier sur le terrain au moment approprié tout en tenant compte de la direction du vent et en l'incorporant immédiatement dans le sol.

4.0 MICRO-ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET MÉTAUX LOURDS DANS LE FUMIER DE BÉTAIL ET DE VOLAILLE

M.D. Webber[α] et L.R. Webber[β]

Le fumier contient une grande variété de micro-éléments nutritifs et non nutritifs dont la concentration entre rarement en ligne de compte lorsqu'on détermine le taux d'application sur le sol. Parmi les micro-éléments nutritifs, on compte les métaux tels que le Fe, le Mn, le Zn, le Cu, le Co, le Cr et le Mo, ainsi que le B, le Cl et le Se qui sont des non-métaux. Les éléments non nutritifs comprennent les métaux tels que le Ni, le Cd, le Pb et le Hg ainsi que le non-métal As. Dans le présent article, on étudie le risque d'accumulation de ces éléments dans le sol et le potentiel toxique du fumier épandu pour les plantes et les animaux.

Des concentrations élevées de Cd, Cu, Ni, Zn, Co, B et Cl dans le sol sont toxiques pour les plantes et peuvent faire diminuer de beaucoup le rendement des cultures (Webber 1972; Chaney 1974). En outre, les concentrations de Cu et de Cd qui sont trop faibles pour faire diminuer la production peuvent être toxiques pour les animaux. Par ailleurs, des concentrations élevées de Mo et de Se dans le sol peuvent être absorbées par les plantes et empoisonner les animaux. Toutefois, le Cr, Pb, Hg et As sont presque totalement exclus des portions comestibles des plantes. Le manganèse peut endommager les plantes, mais les sols contiennent généralement de grandes quantités de Fe et de Mn et leur solubilité dépend des conditions du sol (Leeper 1972).

L'accumulation de micro-éléments nutritifs et de métaux lourds dans les sols amendés avec des boues résiduaires ou situés au voisinage de mines ou d'usines, menace sérieusement les terres cultivables et risque d'empoisonner les plantes et les animaux. L'accumulation se fait insidieusement et les dommages n'apparaissent qu'une fois que le mal est fait. Les concentrations élevées persistent indéfiniment et il n'existe aucune technique pour les réduire. C'est pourquoi, la prévention est le seul moyen de protéger le sol.

[α] Chercheur, Centre technique des eaux usées, Service de la protection de l'environnement, C.P. 5050, Burlington, Ontario L7R 4A6.

[β] Ancien professeur, Department of Land Resource Science, University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1.

4.1 ÉLÉMENTS DANS LE SOL ET LE FUMIER

On trouvera au Tableau 4-1 et à la Figure 4-1 une comparaison de la teneur en micro-éléments nutritifs et en métaux lourds des sols et des fumiers au Canada.

4.1.1 SOLS

Les données sur le sol correspondent aux concentrations totales des éléments dans des échantillons d'horizons de soixante-treize types provenant de toutes les provinces et des Territoires du Nord-Ouest. Ces sols ont été choisis de façon à représenter divers types, textures et compositions minérales. On a pris soin d'éviter les sites qui auraient pu être contaminés par des sources externes.

En général, ces sols contenaient de grandes quantités de Fe et de Mn, des quantités moyennes de Zn, Cu, Ni, Co, Pb et de petites quantités de Mo, Se, Cd et Hg. Les données concordaient bien avec les gammes et les teneurs typiques mentionnées par Berrow et Webber (1972). Bien qu'on n'ait pu le confirmer par des valeurs, il semble que la teneur en B des sols canadiens soit comprise dans la gamme de 2 - 100 $mg.kg^{-1}$ donnée par ces auteurs.

Au sujet des sols agricoles ontariens, Frank et al. (1976) ont trouvé que les teneurs élevées en métaux étaient associées à l'utilisation de pesticides et de boues résiduaires et non à celle de fumiers ou d'engrais. Dans le cas de trois fermes, les concentrations élevées de Ni, Co et Cu provenaient de retombées atmosphériques. Voici la concentration moyenne de fond des métaux dans les sols: 14 470 pour le Fe; 530 pour le Mn; 53,5 pour le Zn; 25,4 pour le Cu; 15,9 pour le Ni; 4,4 pour le Co; 14,3 pour le Cr; 0,56 pour le Cd; 14,1 pour le Pb; et 0,08 $mg.kg^{-1}$ pour le Hg. La concentration moyenne de As s'élevait à 6,3 $mg.kg^{-1}$. Ces valeurs, ainsi que d'autres pour les sols de l'Ontario (Whitby et al. 1978), concordent bien avec celles indiquées au Tableau 4-1.

4.1.2 FUMIERS

Les données portant sur les micro-éléments dans le fumier de bétail au Canada sont rares. Celles qui sont résumées au Tableau 4-1 proviennent de sources diverses indiquées en bas de page. Des échantillons de fumiers de cheval de vache, de porc, de mouton et de poulet et des échantillons de fumiers mixtes ont été analysés par différentes méthodes. Les éléments n'ont pas tous été dosés dans chaque échantillon. Les fumiers contenaient de grandes quantités de Fe, Mn et Zn, des quantités moyennes de Cu, B et Pb et de petites quantités de Ni, Co, Cr, Mo, Se et Cd. Cet ordre correspond à celui donné par Mitchell (1951) pour les teneurs en éléments traces dans les plantes.

Tableau 4-1. Teneurs en micro-élément nutritifs et en éléments non nutritifs des fumiers et des sols au Canada ($mg.kg^{-1}$, masse sèche).

Elément trace	Fumier[α]		Sol[β]	
	Gamme	Moyenne	Gamme	Moyenne
Fe	240 - 1 075	580	500 - 122 000	26 000
Mn	6 - 549	166	19 - 1 600	511
Zn	30 - 450	117	8 - 275	78
Cu	6 - 41	15	2 - 78	23
Ni	0,3 - 4,7	2,8	1 - 86	21
Co	0,3 - 4,7	1,2	1,7 - 60	21
Cr	1,1 - 5,2	3,0	5 - 141	44
Mo	0,7 - 15,8	2,5	0,3 - 0,9[γ]	0,6[γ]
B	4,5 - 52	20	n.d.[δ]	n.d.[δ]
Se	0,10 - 1,48	0,43	0,02 - 2,2	0,30
Cd	0,25 - 1,3	0,5	<0,3	<0,3
Pb	2,5 - 27	9,3	1,9 - 51	20
Hg	n.d.[δ]	n.d.[δ]	<0,005 - 4,6[ε]	0,081[ε]

[α] Données tirées de Atkinson et al. (1954), Halstead (1975), W.M. Langille, Nova Scotia Agricultural College, Truro (N.-E.) et M.D. Webber, Centre technique des eaux usées, Burlington.

[β] Données tirées de J.A. McKeague, Institut de recherche sur les terres, Ottawa, sauf indication contraire.

[γ] M.D. Webber, données non publiées sur six types de sol.

[δ] Données non disponibles.

[ε] Données tirées de McKeague et Kloosterman (1974) sauf une valeur de 14 $mg.kg^{-1}$.

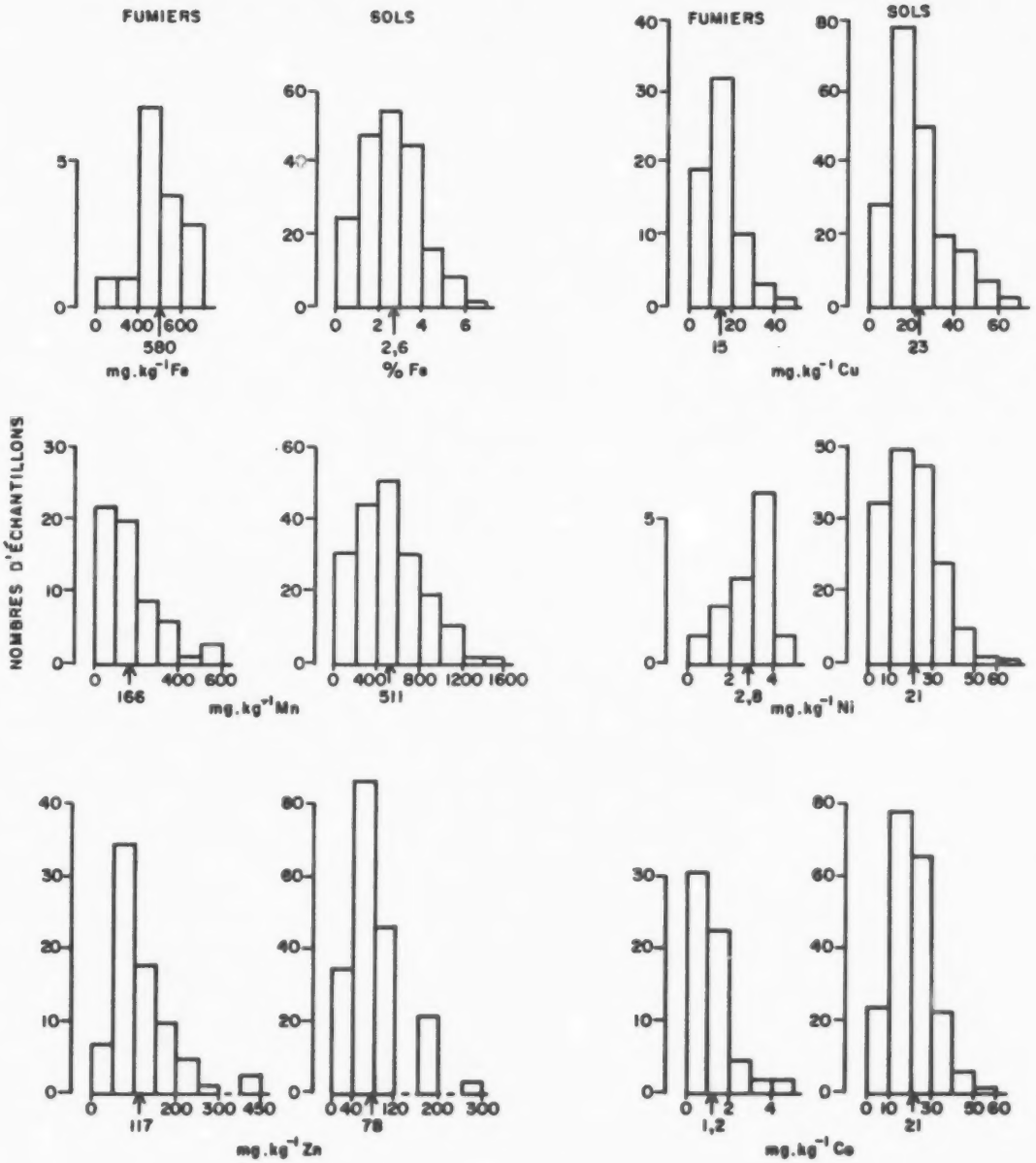


Figure 4-1. Histogrammes représentant la distribution des concentrations d'éléments traces dans le fumier et le sol au Canada. Les valeurs moyennes sont indiquées par des flèches.

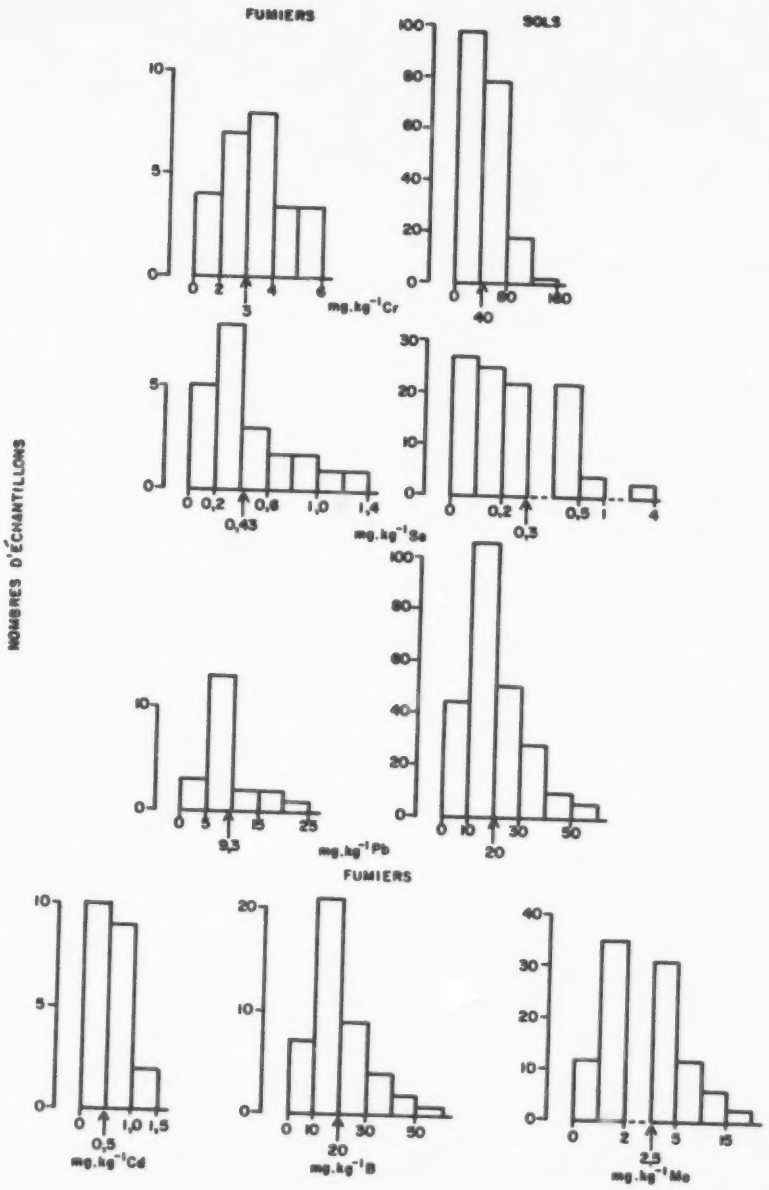


Figure 4-1. (suite). Histogrammes représentant la distribution des concentrations d'éléments traces dans le fumier et le sol au Canada. Les valeurs moyennes sont indiquées par des flèches.

La teneur en cuivre était faible (8 à 14 $mg.kg^{-1}$), ce qui indique l'absence probable de données sur le fumier de cochon. Les valeurs concordaient bien, en général, avec celles provenant des États-Unis (Lunt 1959; Hileman 1967; Hensler et al. 1970; Kornegay et al. 1975; Wallingford et al. 1975a); d'Angleterre et de Yougoslavie (Stojkovaska et Cooke 1958; Hemingway 1961); d'Inde (Mann et al. 1973); du Japon (Takijima et al. 1973); de Tchécoslovaquie (Cumakov 1969) et de Pologne (Mazur 1972a, b; Zmigrodzka et al. 1972).

Il n'a pas été possible de comparer la teneur en micro-éléments des différents fumiers en se limitant aux données canadiennes à cause du nombre trop faible d'échantillons. C'est pourquoi on a comparé les données canadiennes avec celles d'autre provenance au Tableau 4-2. D'après ces chiffres, la gamme des teneurs en Fe dans le fumier est très étendue; cependant, les teneurs très élevées correspondant au fumier du parcage des boeufs proviennent probablement de la contamination du sol. En général, la teneur en Mn, Zn et Cu des fumiers de volailles et de porc était supérieure à celle du fumier de bovin et de mouton, ce qui provient probablement de différences d'alimentation. Les concentrations élevées de Cu dans le fumier provenant de porcs ayant reçu un supplément de cuivre illustrent bien l'effet de l'alimentation (Berryman 1970; Batey et al. 1972; Kornegay et al. 1975; Pearce 1975). Selon Kornegay et al. (1975), il y a 59 $mg.kg^{-1}$ de Cu dans le fumier provenant de porcs ne recevant pas de supplément et 1330 $mg.kg^{-1}$ de Cu dans celui de porcs recevant 300 mg de $Cu.kg^{-1}$ avec leur nourriture. Le fumier contenait des quantités moyennes de Mo et de B ainsi que de faibles quantités de Cr, Se, et Pb. En plus des données indiquées au Tableau 4-2, la littérature contient des résultats d'analyses des métaux suivants dans le fumier: 10 $mg.kg^{-1}$ pour le Ni et <1 $mg.kg^{-1}$ pour le Hg dans le fumier de dinde (Bates et al. 1974); 1 $mg.kg^{-1}$ de Co dans la litière de poulet à griller (Hileman 1967); 2,2 à 15,2 $mg.kg^{-1}$ de Co dans vingt échantillons de fumier de porc (Pearce 1975); et 15 - 30 $mg.kg^{-1}$ de As dans la litière de poulet à griller (Morrison 1969). Il semble que, sauf dans le cas du fumier de porc qui contient des concentrations élevées de Cu et du fumier de volaille qui peut contenir du As, les fumiers de volaille, de porc, de bétail et de mouton présentent à peu près les mêmes concentrations d'éléments.

4.1.3 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS DANS LE FUMIER ET DANS LE SOL

À l'exception du Fe et du Cr dans les fumiers et du Fe et du Mn dans les sols, la concentration des micro-éléments et des métaux lourds n'était pas répartie normalement de part et d'autre des valeurs moyennes (Figure 4-1). Pour le reste, la majorité des échantillons en contenaient moins que la moyenne et quelques-uns d'entre eux en contenaient beaucoup plus. Par exemple, des 78 échantillons de fumier présentant une concentration moyenne de 117 $mg.kg^{-1}$ de Zn, 42 en contenaient moins de 100 $mg.kg^{-1}$ et 4 échantillons en contenaient de 250 à 450 $mg.kg^{-1}$. De la même façon, des 195 échantillons de sol présentant

Tableau 4-2. Teneurs en micro-éléments nutritifs et en éléments non nutritifs de divers fumiers.

Fumier	Élément										
	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Mo	B	Se	Cd	Pb	
Volaille, litière de poulailler (22)		233±78	307±114	66±4							El Sabban et al. (1969)
Volaille, litière de poulailler, 82-88% de solides (3)		405-468	457-713	63-84							Hodgetts (1971)
Volaille, pondeuses en cage		318	341								Long et al. (1975)
Volaille, pondeuses en cage (4)						5,1-12,9		0,48-1,48			M.D. Webber (données non publiées) C
Volaille, pondeuses				241					3,5		Webber et Beauchamp (1975) C
Volaille, litière de poulet à griller (164)		321	472	127		8	36				Stuedemann et al. (1975)
Volaille, litière de poulet à griller (33)		225±86	235±61	98±71							El-Sabban et al. (1959)
Volaille, litière de poulet à griller (4)		320-408	280-309	179			53				Shortall et Liebhardt (1975)
Volaille, litière de poulet à griller		296	228	32,3		6,4	27				Wilkinson et al. (1971)
Volaille, litière de poulet à griller (2)	1000-1000	175-280	105-145	25-39		2-5	32-56				Hileman (1967)
Volaille, non spécifié		381	263	27							Bates et al. (1974) C
Volaille, non spécifié	443-460	34-348	425-490	6-31	3,9-5,0	8-18			0,8-1,3	5-9	Halstead (1975) C
Dinde, non spécifié		46	30	45	15				<2	20	Bates et al. (1974) C
Porc, (4)											
Porc, non spécifié (20)		114-561	128-981	22-636		5,6-11,1		0,69-1,33			M.D. Webber (données non publiées) C
Porc, non spécifié (5)		333	737	<100-690		0,2-0,5			0,3-2,4	4-42	Pearce (1975)
Porc, prêt pour l'abattoir (2)	2310		439	59-1330							Bates et al. (1974) C
Porc, prêt pour l'abattoir				643-1575							Korneyay et al. (1975)
Porc, prêt pour l'abattoir (23)				675							Batey et al. (1972)
Vache, laitière (5)											Berryman (1970)
Vache, laitière		129	146	18							
Vache, laitière		114	45	17		14	20				Bates et al. (1974) C
Vache, laitière (5)	354	108	135	21		4	73				Long et al. (1975)
Boeuf (2)			110-229	17-32	1,1-3,2	1,4-2,8		0,16-0,28	<0,5	8,2-22,4	Hensler et al. (1970)
Boeuf, parcage		67	100	68							M.D. Webber (données non publiées) C
Bétail, non spécifié (9)	3000-10 300	43-234	35,7-102	10,9-29,3							Bates et al. (1974) C
Bétail, non spécifié (2)	240-1075	6-85	30-72	7-16	2,3-5,2	7-16			0,3-1,2	5-27	Wallingford et al. (1975a)
						0,8-1,7		0,14-0,23			Halstead (1975) C
Mouton, non spécifié (5)	133-560	8-61	55-267	9-15	2,0-3,1	9-11,4			0,5-0,7	3-11	M.D. Webber (données non publiées) C
Mouton, élevage (4)						1,5-2,4		0,38-0,43			Halstead (1975) C
											M.D. Webber (données non publiées) C

Les données sont exprimées en ppm, masse sèche, sauf indication contraire. Le nombre d'échantillons analysés est donné entre parenthèses. Un C après le nom de l'auteur indique qu'il s'agit de données canadiennes.

une concentration moyenne de 78 $mg.kg^{-1}$ de Zn, 123 en contenaient moins de 80 $mg.kg^{-1}$ et 3 en contenaient de 200 à 300 $mg.kg^{-1}$.

Les sols contenaient des quantités plus élevées de Fe, Mn, Ni, Cr et Co que le fumier, alors que le Zn, Cu, Pb, Cd, Mo et Se se retrouvaient à peu près dans le mêmes proportions dans le sol et le fumier (Tableau 4-1 et Figure 4-1). Toutefois, le fumier de cochon provenant d'animaux dont la nourriture était enrichie en Cu contenait de plus grandes quantités de Cu que le sol. Par conséquent, il semble peu probable que l'épandage de fumier sur le sol provoque une accumulation importante de Fe, Mn, Ni, Cr et Co. Par contre, il pourrait y avoir accumulation de Zn, Cu, Pb, Cd, Mo et Se, en particulier si l'on utilise pendant de nombreuses années des taux d'épandage très élevés. L'épandage de quantités importantes de fumier de cochon présentant des concentrations élevées de Cu pourrait causer une accumulation appréciable.

4.2 EFFETS SUR LA PRODUCTION AGRICOLE ET ANIMALE

Le fumier de porc enrichi en cuivre et réduit en bouillie, appliqué à trois occasions sur des pâturages à un taux de 112 000 $L.ha^{-1}$, fournissait 12,2 kg de $Cu.ha^{-1}$ et augmentait la quantité de Cu extractible par l'EDTA de 2,1 à 7,3 $mg.kg^{-1}$ dans des échantillons de sol prélevés jusqu'à une profondeur de 7,5 cm (Batey et al. 1972). La quantité de cuivre dans la matière sèche des herbes augmentait de 9,1 à 21,2 $mg.kg^{-1}$ (moyenne de 5 coupes), mais la plus grande partie du Cu supplémentaire provenait, croit-on, de contamination externe. Ces concentrations sont bien en dessous de celles qui pourraient endommager les cultures ou empoisonner les animaux. On a d'ailleurs suggéré que l'épandage de fumier de porc enrichi en Cu présentait peu de danger. Le bétail susceptible serait plus menacé par l'ingestion d'herbe broutée ou récoltée contaminée par le fumier. Pour éviter tout risque d'accumulation de Cu dans le sol, on a proposé de ne jamais dépasser le taux de 9,5 kg de $Cu.ha^{-1}$ par année jusqu'à ce qu'on en sache plus sur l'absorption de cet élément par les plantes cultivées. L'épandage de fumier de porc contenant 2310 $mg.kg^{-1}$ de Fe, 439 $mg.kg^{-1}$ de Zn et 1330 $mg.kg^{-1}$ de Cu sur des champs de maïs au taux de 14 $t.ha^{-1}.a^{-1}$ (masse sèche) pendant trois ans faisait augmenter les concentrations de Zn et de Cu dans le sol mais non les concentrations de Fe (Kornegay et al. 1975). Ces concentrations accrues respectaient encore les limites recommandées pour obtenir une bonne production. La teneur en Zn des grains de maïs passait de 21 à 25 $mg.kg^{-1}$ et celle des feuilles de l'épi, de 30 à 44 $mg.kg^{-1}$, mais la teneur en Cu des grains n'augmentait pas. La teneur en Cu des feuilles de l'épi passait d'environ 8 à 12 $mg.kg^{-1}$, soit un niveau encore sans danger pour les fourrages ensilés.

L'épandage dans les champs du fumier des cours de ferme au taux de 15 $t.ha^{-1}.a^{-1}$ pendant 6 ans faisait augmenter la concentration de Zn extractible par un mélange de dithizone - acétate d'ammonium dans

le sol et l'absorption de cet élément par le maïs et le blé (Sharma et Meelu 1975). De même, l'épandage de 60 $t.ha^{-1}.a^{-1}$ de fumier pendant 40 ans a donné une concentration de 19 $mg.kg^{-1}$ de Zn libre mesurée par la méthode avec Aspergillus niger, alors que dans les sols amendés uniquement avec des engrais minéraux, on n'en trouvait que 5-6 $mg.kg^{-1}$ (Nowosielska 1966). Le fumier de volaille appliqué au taux de 44 t (masse humide) au sol d'une serre permettait de compenser la carence en Se et Zn. Il semblait que la portion organique du fumier joue un rôle important en libérant ces éléments pour les rendre plus disponibles aux plantes (Miller et al. 1969). Le fumier provenant des parcages à boeuf et de l'eau des étangs de stockage faisait augmenter le Fe, Mn et Zn extractibles au DTPA dans le sol d'un champ et constituait une source de ces éléments pour le maïs (Wallingford et al. 1975a). On a employé une gamme de taux d'épandage; les quantités maximales accumulées pendant trois ans s'élevaient à 2200 $t.ha^{-1}$ de fumier (masse sèche) et 1,29 $m.ha^{-1}$ d'eau d'étang de stockage. Le fumier fournissait respectivement environ 14 200, 330, 120 et 36 $kg.ha^{-1}$ de Fe, Mn, Zn et Cu et l'eau d'étang 23, 2, 4 et 7 $kg.ha^{-1}$ de Fe, Mn, Zn et Cu; la production agricole ne semblait pas réduite.

En ajoutant 240 $t.ha^{-1}$ (masse humide) de fumier de cour de ferme au sol de la terre, on augmentait la concentration de B hydrosoluble et la concentration de Cu, Zn et Mo totaux, mais pas celle de Co total ni celle de Mn total, échangeable ou facilement réductible (Atkinson et al. 1958). On a attribué à une augmentation du pH les concentrations réduites de Mn et de B et les concentrations plus élevées de Mo dans le trèfle "ladino" cultivé sur des sols amendés avec du fumier. De la même façon, les concentrations de Fe, Mn, Zn, Cu, B et Mo dans les plants de maïs cultivés en serre n'étaient pas modifiées systématiquement par l'épandage de fumier de vaches laitières à des taux variant de 0 à 613 $t.ha^{-1}$ (Hensler et al. 1970). Le fumier contenait 11,1% de matière sèche et 354, 106, 135, 21, 73 et 4 $mg.kg^{-1}$ (masse sèche) de Fe, Mn, Zn, Cu, B et Mo, respectivement. Ce fumier a été épandu sur des sols chaulés et non chaulés. Le chaulage réduisait les concentrations de Mn et Zn dans les plants de maïs et faisait augmenter la concentration de Mo. Dans les sols à peu près neutres, on pourrait utiliser des taux d'épandage très élevés pour améliorer la production agricole et les qualités du sol sans risquer d'empoisonner les plantes.

L'épandage de 34 $t.ha^{-1}$ de fumier de cour de ferme sur le sol fournissait plus de Mn, Cu et Mo et presque autant de Zn que l'absorption cumulée par les cultures de blé, d'orge, de trèfle, de pomme de terre et de chou (Williams et al. 1960). La concentration de ces micro-éléments était toutefois semblable chez les plantes cultivées sur un sol amendé avec du fumier et avec un engrais NPK qui ne contenait presque pas de micro-éléments. En général, ces traitements augmentaient la teneur en Mn et diminuaient celle en Zn, Cu et Mo dans les cultures. De la même façon, l'épandage de 67 $t.ha^{-1}.a^{-1}$ de fumier de cour de ferme pendant 10 ans ne modifiait pas les concentrations de Fe, Zn et Cu dans les limbes des feuilles de betterave rouge, de chou, de carotte, de

laitue et d'oignon (Page 1966). La concentration de manganèse était réduite, ce qu'on a attribué à l'augmentation de pH du sol.

La plupart du Se dans le fumier de mouton dont l'alimentation contenait du Se se trouvait sous forme inorganique insoluble; en serre, son absorption était négligeable au bout de 53 jours dans le seigle (Butler et Peterson 1961) et au bout 75 jours, dans trois espèces de plantes de pâturage (Peterson et Spedding 1963). La teneur en As des sols et des cultures n'était pas modifiée par l'utilisation de litière de volaille contenant 15-30 $mg.kg^{-1}$ de As comme engrais pendant 20 ans (Morrison 1969). En outre, la teneur en As des tissus et des plumes de volaille n'augmentait pas lorsque les oiseaux étaient élevées sur ce type de litière.

La nourriture des boeufs contenait fréquemment au moins 1% de NaCl, dont la plupart était excrété dans l'urine. Selon Peterson et al. (1971), l'épandage à des taux élevés de fumier risque de réduire la germination des graines et la croissance des plants.

4.3 CRITÈRES RELATIFS À L'UTILISATION DU FUMIER

La solubilité d'un grand nombre de micro-éléments nutritifs et d'éléments métalliques et leur absorption par les plantes sont conditionnées par les propriétés du sol et par les différences entre les espèces végétales. Par exemple, sauf dans le cas du Mo, la disponibilité des éléments pour les plantes décroît avec l'augmentation du pH du sol, et leur absorption est réduite par le chaulage (l'absorption de Mo augmente avec le chaulage). L'addition de phosphate accroît la solubilité du Zn dans les sols mais réduit son absorption par les plantes. L'influence de la matière organique sur la rétention et la libération de métaux dans les sols est un phénomène bien connu. Par conséquent, la boue résiduaire, en raison des éléments organiques qu'elle contient, peut efficacement réduire les effets toxiques des métaux sur les plantes (Chaney 1973). Toutefois, au fur et à mesure que la matière organique se décompose, des quantités toxiques de métaux peuvent être libérées. La disponibilité de la plupart des éléments pour les plantes s'accroît avec l'aération. Les cultures de légumes absorbent habituellement des quantités plus élevées d'éléments traces que les plantes des champs, et les herbes fourragères absorbent les quantités les plus faibles.

En Ontario, les lignes directrices portant sur l'épandage de fumier sont basées d'une part, sur l'utilisation efficace de l'azote pour la production agricole et d'autre part, sur le rejet sans pollution de déchets (Webber et Lane 1969). Supposons que le fumier produit par les vaches laitières, les bovins ou les porcs contient 6 kg de $N.t^{-1}$ (masse humide) (Peterson et al. 1971); si on l'utilise pour fournir 174 kg de $N.ha^{-1}$ en vue de produire du maïs, le taux d'épandage annuel s'élèverait approximativement à 30 $t.ha^{-1}$ en masse humide, soit à 6

$t.ha^{-1}$ en masse sèche. En supposant en outre que le fumier contienne les quantités moyennes de micro-éléments nutritifs et d'éléments non nutritifs présentées au Tableau 4-1, on a calculé qu'un très grand nombre d'épandages (Tableau 4-3) seraient nécessaires pour atteindre le maximum pour les sols ontariens amendés avec des boues résiduaires. Le fumier de mouton, de poulet d'élevage et de poule couveuse contient approximativement 12 kg de $N.t^{-1}$ (Peterson et al. 1971) et il faudrait la moitié moins d'épandages pour atteindre le niveau maximal. Il faudrait 250 épandages de fumier de volaille contenant 20 $mg.kg^{-1}$ de As (masse sèche) pour atteindre le niveau maximal de 15 $kg.ha^{-1}$. Il semble donc que la plupart des fumiers épandus au taux "agricole" de 174 kg de $N.ha^{-1}$ ou même au taux "de dépollution" de 345 kg de $N.ha^{-1}$ n'augmenteraient la teneur en micro-éléments que très lentement. Toutefois, le fumier de porc contenant 1000 $mg.kg^{-1}$ de Cu, épandu au taux "de dépollution", ajouterait la quantité maximale de Cu au sol en 14 épandages seulement et menacerait probablement la récolte. La présence de Cu dans la nourriture des cochons pourrait aussi faire augmenter la concentration de Cu dans le fumier au-dessus de 0,07% (masse humide) et inhiber la décomposition du fumier (Robinson et al. 1971). Sauf dans le cas du fumier de porc enrichi au Cu, il semble peu probable que l'épandage cause l'accumulation d'éléments toxique dans les sols ou les plantes ou qu'il soit nuisible aux animaux.

4.4 EFFETS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

La contamination de l'eau par les micro-éléments nutritifs et les métaux lourds n'a pas été définie comme un problème résultant de l'épandage de fumiers. Malgré l'existence d'une grande quantité de données sur l'azote, le phosphore, le sel et la matière organique dans les eaux de ruissellement et de drainage provenant de sols amendés, les auteurs ont été incapables de trouver les données correspondantes pour les micro-éléments. Ce manque d'information est illustré par l'absence de discussion à ce sujet au cours de la rencontre sur l'épandage de fumiers parrainée par Agriculture Canada et tenue à Ottawa les 5 et 6 décembre 1978.

Il est improbable que l'épandage de fumiers représente un danger important pour les eaux à cause des micro-éléments nutritifs et des métaux lourds qu'ils contiennent. Bien qu'on n'ait pas signalé d'études sur ce sujet, celles qui ont été effectuées sur les boues résiduaires qui contiennent habituellement des concentrations beaucoup plus élevées de micro-éléments nutritifs soulèvent peu d'inquiétude. Par exemple, une étude effectuée de 1973 à 1977 à l'université de Guelph indiquait que les concentrations totales de Zn, Cu, Pb, Cd, Ni et Hg dans les eaux de ruissellement des parcelles amendées avec des boues et présentant une pente de 2% et 6% étaient généralement faibles et s'approchaient souvent du seuil de détection (Bates et al. 1978). Les concentrations les plus élevées ont été observées surtout pendant l'été; elles ont été attribuées aux pertes de sédiments plus élevées à ce

Tableau 4-3. Taux maximal d'addition de micro-éléments nutritifs et d'éléments non nutritifs recommandé pour les sols de l'Ontario et nombre d'épandages nécessaires pour l'atteindre.

Élément	Taux maximal recommandé[a] ($kg.ha^{-1}$)	Quantité ajoutée avec 6 t métrique.h^{-1} en masse sèche de fumier (kg)	Nombre d'épandages nécessaires pour atteindre le taux maximal recommandé
As	14	-	-
Be	-	-	-
B	-	-	-
Cd	1,6	0,003	530
Co	30	0,007	4 290
Cr	210	0,018	11 670
Cu	150	0,090	1 670
F	-	-	-
Hg	0,8	-	-
Mo	4,0	0,015	270
Ni	32	0,017	1 880
Pb	90	0,056	1 610
Se	2,4	0,003	800
Zn	330	0,702	470

[a] Données tirées des Guidelines for Sewage Sludge Utilization on Agricultural Lands, mars 1981. Préparé par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario et le ministère de l'Environnement de l'Ontario.

moment de l'année. D'après les mesures effectuées avant et après une filtration sur tamis à maille de 0,45 µm, une grande proportion de tous les métaux, à l'exception de Hg, adhérait au sédiment. Des études lysimétriques effectuées au Centre technique des eaux usées à Burlington, indiquaient que l'épandage à des taux élevés de boues résiduaires ne contaminait pas les eaux de lixiviation avec des métaux (M.D. Webber, données non publiées). Les concentrations de Cu, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn dans les eaux de lixiviation de sols amendés avec des boues entre 1973 et 1978 n'augmentaient pas avec le temps et étaient comparables aux concentrations mesurées après amendement témoin avec un engrais commercial. Les concentrations maximales observées ne dépassaient pas les concentrations maximales admissibles pour l'eau potable. À la fin de 1978, les concentrations de métal les plus élevées dans le sol s'élevaient respectivement à 10, 620, 300, 1580, 340 et 1100 $kg.ha^{-1}$ pour le Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn. Vers la fin de 1976, des échantillons de sol ont été prélevés à intervalles rapprochés dans le profil vertical. D'après les analyses, les métaux ne s'étaient pas déplacés verticalement au-delà de 5 cm dans le sol, et presque tous les métaux étaient associés à la couche de boue et à la couche superficielle de 1 cm. Ces résultats sont compatibles avec ceux du rapport CAST (1976) et ceux de nombreuses publications étudiées par Kirkham (1977). Toutefois, quelques publications font état d'un déplacement peu important, en particulier du Zn et du Cu, dans le sol et les eaux souterraines (Kirkham 1977; Sidle et Kardos 1977).

Les risques de contamination des eaux par les métaux par suite d'amendement avec du fumier sont faibles, car le fumier contient relativement peu de métaux et forme des complexes métalliques stables avec la matière organique du sol (Stevenson et Ardakani 1972). Par conséquent, les micro-éléments nutritifs ou les métaux lourds du fumier ne menacent pas vraiment l'environnement aquatique. Même les boues résiduaires qui contiennent habituellement beaucoup plus de micro-éléments nutritifs que le fumier présentent peu de danger. Les eaux pourraient être contaminées par les métaux, à cause des excréments laissés par le bétail ayant accès à des cours d'eau ou d'autres sources d'eau potable. Si l'on considère les éléments autres que les métaux qui se trouvent dans le fumier, notamment l'azote, le phosphore, la matière organique et les agents pathogènes, il devient nécessaire de restreindre de telles pratiques.

5.0 PESTICIDES, POLLUANTS ORGANIQUES, PRODUITS PHARMACEUTIQUES ET ADDITIFS ALIMENTAIRES PRÉSENTS DANS LE FUMIER

R. Frank[a]

Les animaux peuvent être exposés à diverses substances organiques: (1) résidus de pesticide dans le fourrage; (2) résidus de polluants organiques dans le fourrage; (3) produits ajoutés au fourrage et à l'eau; (4) insecticides topiques appliqués en aérosol ou substances thérapeutiques; et (5) pesticides, produits pharmaceutiques, etc. en injection.

5.1 RÉSIDUS DE PESTICIDE DANS LE FOURRAGE

Les résidus se trouvant dans le fourrage proviennent habituellement des pesticides qui ont persisté sur les cultures et qui sont donc consommés en même temps que le fourrage. Même si l'on n'utilise plus les produits organochlorés persistants en agriculture, leurs résidus dans le sol se retrouvent souvent dans le fourrage. L'interdiction imposée sur le DDT, l'aldrine et l'heptachlore en 1969-1970 a fait rapidement baisser la teneur de leurs résidus dans le lait produit en Ontario (Frank et al. 1975). Les résidus d'insecticides organochlorés ingérés ne sont que partiellement absorbés. Une fraction considérable est éliminée avec les excréments sous forme du composé initial ou de métabolites légèrement transformés (Richardson et Robinson 1971). La fraction absorbée est stockée dans les tissus gras et lentement éliminée dans l'urine sous forme de métabolites hydrosolubles.

Les insecticides organophosphorés et les carbamates se retrouvent rarement dans le fourrage et leur présence dans le fumier est improbable. Les résidus de chlorpyrifos et son métabolite pyridinol, dont les concentrations s'élevaient respectivement à 1,85 et 1,75 $mg.kg^{-1}$ dans le maïs ensilé servant à nourrir des vaches laitières, n'apparaissaient ni dans les excréments ni dans l'urine de ces dernières (Johnson et al. 1974). En nourrissant des vaches laitières de maïs ensilé contenant jusqu'à 50,6 $mg.kg^{-1}$ de fonofos, Johnson et al. (1973) ne retrouvaient respectivement que 0,03 $\mu L.L^{-1}$ et 0,02 $mg.kg^{-1}$ de fonofos et de ses métabolites dans l'urine et les excréments. Une semaine après avoir remplacé la nourriture ensilée, on ne détectait plus de résidus ni dans l'urine ni dans les excréments. Whitacre et al. (1974) signalaient que les résidus de leptophos étaient rapidement métabolisés et excrétés dans l'urine de rats et que la plus grosse partie du reste était éliminée dans les excréments. Une quantité relativement faible du composé initial restait intacte.

---

[a] Directeur, Laboratoire provincial d'analyse des résidus de pesticide, Guelph, Ontario.

On a fait état de plusieurs cas où les animaux consommant des tissus végétaux traités au piclorame excrétaient ce composé, qui restait toxique pour les plantes cultivées sur les terres amendées (Costa et al. 1974). Dans un cas peu connu en Ontario, la paille traitée a été utilisée comme litière et le fumier ainsi obtenu a été épandu sur des champs de tabac. Les plants de tabac présentèrent des symptômes typiques d'empoisonnement au piclorame (Frank 1973). Chez les humains, 75% d'une dose de 2,4-D était excrétée sans modification dans l'urine en 96 heures (Kohli et al. 1974). L'atrazine et le métabolite hydroxy ajoutée à la nourriture de rats étaient excrétés respectivement dans l'urine (66 et 78%) et dans les excréments (20 et 5%) (Bakke et al. 1972).

5.2 RÉSIDUS DE POLLUANTS ORGANIQUES DANS LE FOURRAGE

De nombreux produits chimiques industriels peuvent s'introduire dans le fourrage, par erreur ou à la suite de retombées chimiques sur les cultures. Actuellement, il existe de nombreux composés qui pourraient être extrêmement dangereux, dont les polybromobiphényles, les polychlorobiphényles et le mirex.

1. Au Michigan, l'addition accidentelle de polybromobiphényles au fourrage a provoqué une grave contamination du fumier. Jackson et Halbert (1974) ont suggéré qu'un petit pourcentage seulement était absorbé par les intestins.

2. Après avoir consommé de la nourriture contenant des PCB, les humains les excrétaient surtout dans les fèces et dans une proportion de 6,2% seulement dans l'urine (Price et al. 1972). La nourriture en contenait jusqu'à 840 $\mu g.d^{-1}$ et la perte dans l'urine et les fèces s'élevait respectivement à 5,8 et 87 $\mu g.d^{-1}$.

3. Le mirex, insecticide et ignifugeant, a été administré à une vache en lactation au taux de 0,2 $mg.kg^{-1}$ de nourriture (Dorough et Ivie 1974) sous forme marquée. Les résidus dans les excréments ont atteint un maximum correspondant à 50% de la dose après trois semaines et sont restés à ce niveau jusqu'à la fin du traitement.

5.3 PRODUITS AJOUTÉS AU FOURRAGE ET À L'EAU

L'addition de produits au fourrage pour détruire les mouches se reproduisant dans le fumier a été beaucoup étudiée pendant de nombreuses années. Knipling (1938) et Bruce (1939) ont étudié l'efficacité de la phénothiazine pour détruire la mouche des cornes (Haematobia irritans L.). D'après Drummond (1963), les insecticides ajoutés à la nourriture du bétail pourraient détruire les larves de mouches se reproduisant dans le fumier. Des recherches ont été effectuées sur le coumaphos, le chlorpyrifos, le dichlorovos, méthoprène

et le tétrachlorvinphos. Ces produits ont été ajoutés à l'eau et au fourrage sous diverses formes et même en microcapsules (Miller et al. 1970a, b, 1976; Miller et Gordon 1972a, b; Butler and Greer 1973; Sherman et Herrick 1973; Miller et Uebel 1974; Breeden et al. 1975).

Miller et Gordon (1972b) ont noté que de 30 à 90 $mg.kg^{-1}$ de tétrachlorvinphos dans la nourriture donnait 10 $mg.kg^{-1}$ de l'insecticide dans le fumier. Cette valeur tombait à 0,5 $mg.kg^{-1}$ en 8 jours. On récupérait dans le fumier 15% du tétrachlorvinphos lorsqu'il était ajouté dans le fourrage sous forme de microcapsules, mais seulement 0,3% lorsqu'il était ajouté sous forme d'une poudre mouillable. En ajoutant 60 $mg.kg^{-1}$ de tétrachlorvinphos dans le fourrage, on en obtenait 2,24 $mg.kg^{-1}$ dans le fumier (Miller et Gordon 1972a).

Le xylène utilisé comme désinfectant et ajouté au fourrage au taux de 1000 $mg.kg^{-1}$ passait dans les animaux sans être modifié puisqu'il détruisait les organismes de Brucella dans les réservoirs de fumier liquide (Plommet 1972).

Lors d'expériences en pot sur le fumier de cochon et de poulet contenant des antibiotiques et d'autres médicaments ajoutés à la nourriture, Tietjen (1975) a observé des effets bénéfiques ou néfastes sur la production et la teneur en azote de l'avoine, selon l'additif utilisé et sa concentration. Le teneur en matière sèche augmentait de façon marquée lorsqu'on ajoutait du carbadox, alors que le flavophospholipol, l'oxytétracycline et l'oléandomycine augmentaient la teneur en azote. D'après l'auteur, les antibiotiques et les autres additifs peuvent modifier la biodégradation des excréments ainsi que leur effet comme fumier sur la production agricole. Malgré tout, Warman et al. (1977) ont constaté que la présence d'amprolium, qui est utilisé pour combattre les coccidies dans le fumier de volailles n'avait aucun effet néfaste sur la respiration du sol traité.

D'après une étude récente, les excréments du bétail recevant de la chlortétracycline et de l'oxytétracycline contenaient respectivement 5,3 et 11,3 $\mu g.g^{-1}$ de ces produits (Patten et al. 1980). Lorsque ces excréments étaient épandus sur le sol, les antibiotiques ne modifiaient pas le nombre total de bactéries, le nombre total de coliformes et le nombre de coliformes fécaux ou de streptocoques fécaux, ni la vitesse de minéralisation de l'azote; par contre, les antibiotiques faisaient augmenter de 20% par rapport aux témoins la teneur en carbone produit en 70 jours. Au cours d'une expérience en pot, on n'a observé aucun effet des antibiotiques sur la croissance, le rendement ou la composition élémentaire des plants de maïs. Au cours d'une étude effectuée en 1978 sur la production de méthane, la société Bio-Gas of Colorado a utilisé le fumier produit par des porcs dont la nourriture contenait 40 g de lincomycine par tonne de fourrage. L'acidification qui s'ensuivit dans les digesteurs a été attribuée à la présence de 5-2 $mg.kg^{-1}$ de lincomycine dans le fumier de porc.

L'utilisation d'hormones synthétiques pour accroître l'efficacité de la transformation des protéines végétales en protéines animales chez les animaux d'élevage a soulevé certaines inquiétudes qui ont amené l'interdiction du diéthylstilbestrol, par exemple, comme additif alimentaire (Azevedo et Stout 1974). Néanmoins, les mêmes auteurs, après avoir cité une étude bibliographique du sujet effectuée par Dinius (1971), ont suggéré que les oestrogènes présents dans le fumier épandu n'étaient vraisemblablement pas dangereux pour l'homme et les animaux.

5.4 INSECTICIDES TOPIQUES APPLIQUÉS EN AÉROSOL ET SUBSTANCES THÉRAPEUTIQUES

Les insecticides suivants sont appliqués sur le bétail en aérosol topique; carbaryl, coumaphos, crotoxyphos, crufomate, dichlorvos et nalède ou fenchlorphos. En outre, le toxyphène a été utilisé dans les applicateurs automatiques.

Le toxaphène, un insecticide organochloré, s'accumule dans les tissus gras. Crowder et Dindal (1974) mentionnaient qu'à la première exposition, on retrouvait une grande proportion du toxaphène ingéré par des rats dans les excréments (71%), et le reste dans l'urine (29%). Après une dose subséquente, jusqu'à 47% se retrouvait dans l'urine et 53% dans les excréments. La première dose était éliminée en 9 jours, alors que la dose subséquente n'était totalement éliminée que 20 jours après.

Le fenchlorphos appliqué sur le dos (préparation à verser) de vaches laitières était sous forme de métabolites hydrosolubles dans l'urine et les excréments. L'urine contenait 50-60% de la quantité appliquée alors que les excréments n'en contenaient que 2%. Le produit se présentait surtout sous forme de fenchlorphos hydrolysé (Avrahami et al. 1974).

L'augmentation de la quantité de résidus dans les champignons a précipité la réalisation d'une étude par Frank et al. (1974) sur le fumier de chevaux de course. On a trouvé que lorsque les liniments et médicaments contenant du mercure étaient utilisés sur les chevaux, la concentration du mercure dans le fumier était élevée. Le fumier de cheval contenait de 0,049 à 0,42 $mg.kg^{-1}$ du mercure sous forme inorganique. Normalement, les teneurs en résidus auraient dû être comprises entre 0,04 et 0,08 $mg.kg^{-1}$.

5.5 INJECTION OU APPLICATION THÉRAPEUTIQUE

Le crotoxyphos est un insecticide organophosphoré à action systémique utilisé pour détruire les larves d'hypodermes du boeuf. Selon Rumsey et al. (1974), après injection de crotoxyphos chez des génisses, on retrouvait 62% de la dose dans l'urine en 24 heures; de

plus, approximativement 84% de la dose était excrétée en 5 jours, soit 74% dans l'urine et 10% dans les excréments. L'insecticide était excrété sous forme d'un métabolite hydrolysé.

5.5.1 TRAITEMENT DU FUMIER

On traite le fumier surtout: (1) pour détruire les mouches ou (2) pour désodoriser ou masquer son odeur.

(1) Insecticides - On a utilisé le méthoprène, le dichlorvos et le diazinon pour détruire les mouches dans le fumier. Miller et Uebel (1974) se sont servis de 1-10 $mg.kg^{-1}$ de méthoprène pour détruire les mouches domestiques. Butler et Greer (1973) ont ajouté 72 $mg.kg^{-1}$ de dichlorvos pour détruire les larves de diptère.

(2) Désodorisants - Il existe une grande variété d'additifs servant à désodoriser les déchets des animaux ou à masquer leur odeur. Parmi ces produits, on compte des cultures de bactéries, des enzymes et des produits chimiques organiques et inorganiques de composition inconnue. Le permanganate de potassium est l'un des ingrédients inorganiques.

5.6 RISQUES LIÉS À L'UTILISATION DE SUBSTANCES ORGANIQUES

Selon les renseignements donnés ci-dessus, de nombreux composés organiques pouvant être dangereux sont consommés par les animaux de ferme puis éliminés dans le fumier. Pourtant, l'effet de ces produits chimiques sur les organismes du sol, les plantes, les animaux et les humains est difficile à évaluer lorsque le fumier est épandu. On a accordé très peu d'attention à ces composés organiques dans la littérature portant sur l'évaluation des effets environnementaux des déchets d'animaux sur les terres cultivées.

Compte tenu des progrès réalisés dans l'utilisation des déchets animaux comme fourrage (Helmer 1980), il semble improbable que les additifs organiques du fumier aient des effets graves. La capacité des sols à adsorber un grand nombre de ces composés ou à les décomposer peut réduire les risques. L'utilisation de déchets d'animaux comme fourrage doit comporter beaucoup de précaution et être précédée d'analyses pour vérifier leur teneur en pesticides, en antibiotiques, etc. De même, l'épandage sur des terres cultivées de fumier contenant ces composés organiques doit aussi faire l'objet d'une attention bien spéciale. Il y aurait lieu d'effectuer des recherches sur le devenir de ces produits chimiques dans le sol et sur leur absorption par les plantes. Il y aurait également lieu d'étudier les effets néfastes possibles des antibiotiques sur les micro-organismes intervenant dans la décomposition du fumier ou dans les processus biologiques habituels dans le sol. L'utilisation de produits pharmaceutiques favorisant la croissance soulève le problème particulier du risque de transfert génétique de la résistance de sérotypes non pathogènes à des sérotypes pathogènes de certaines espèces (Bromel et al. 1971).

6.0 PRÉSENCE DANS LE FUMIER DE BACTÉRIES ET DE CHAMPIGNONS PATHOGÈNES POUR LES ANIMAUX

R.G. Bell[α]

Les bactéries et les champignons pathogènes peuvent menacer la santé des humains et des animaux sur l'aire de stockage et d'épandage du fumier ou à une certaine distance de celle-ci, si les organismes restent viables et sont entraînés à l'extérieur de la ferme. Les organismes en cause, les maladies qu'ils produisent et les mesures prophylactiques seront brièvement exposées[β]. On soulignera ainsi l'importance d'une gestion efficace pour réduire les risques que posent les agents pathogènes dans le fumier.

6.1 BACTÉRIES

Le Tableau 6-1 présente les résultats d'une étude réalisée au Canada pour déterminer la fréquence relative de 21 maladies bactériennes transmises par le fumier, affectant le bétail et la volaille. Pour déterminer les agents qui causent les maladies étudiées, on s'est basé sur la huitième édition du Manuel de Bergey (Buchanan et Gibbons 1974); lorsque le nom est différent de celui employé en médecine vétérinaire, on a placé le nom courant entre parenthèses. Les descriptions des maladies et les détails microbiologiques ont été surtout tirés du Merck Veterinary Manual (Siegmund 1979) et du Textbook of Microbiology (Burrows 1973).

6.1.1 MALADIES NÉO-NATALES

a) Colibacillose

La colibacillose des jeunes animaux est surtout causée par des sérotypes entéropathogènes de Escherichia coli. Vu que l'organisme en cause est un commensal normal de l'adulte sain, on le trouve normalement dans le fumier.

b) Septicémie (Navel Ill, Joint Ill, polyarthrite, septicémie du poulain).

[α] Ancien chercheur à la station de recherche d'Agriculture Canada à Lethbridge (Alberta). Adresse actuelle: microbiologiste, Meat Industry Research Institute of New Zealand, Hamilton, Nouvelle-Zélande.

[β] Les agents pathogènes fécaux provenant de la faune sauvage ne sont pas inclus dans cette étude.

Tableau 6-1. Fréquence[α] des maladies bactériennes affectant le bétail canadien et transmises par les excréments et l'urine (tiré d'une étude réalisée par les ministères provinciaux de l'agriculture).

Maladie	Ministère provincial de l'agriculture										Agriculture Canada
	T.-N.	N.-E.	N.-B.	Î.-P.-É.	Qué.	Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B	
Bovin, mouton et porc											
Colibacillose néo-natale	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Septicémies néo-natales	4	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1
Abcès podaux	2	1	1	1	4	3	2	1	2	4	1
Érysipèles	2	3	1	1	4	3	2	1	2	4	1
Entérotoxémies dues aux clostridies	1	-[β]	2	2	3	5	1	4	3	3	1
Toxémies dues aux clostridies	4	3	2	3	3	3	1	2	2	3	3
Dysenterie d'hiver des bovins	3	2	2	1	4	3	2	4	3	5	1
Dysenteries du porc	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	1
Salmonellose	5	4	3	4	4	2	2	4	5	3	1
Leptospirose	5	-	4	4	4	3	3	4	5	3	1
Brucellose	4	-	5	5	4	4	3	3	4	4	4
Maladie de Johne	5	-	5	5	5	4	3	5	4	4	4
Tuberculose	5	-	5	4	5	5	4	4	5	5	5
Charbon bactérien	5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Volaille											
Entérite ulcéreuse	5	-	4	4	3	1	1	4	3	4	1
Choléra de la volaille	5	3	4	3	4	2	3	2	3	3	2
Salmonellose	5	5	3	5	4	2	2	4	3	3	1
Tuberculose	5	5	3	5	4	2	2	4	3	3	1
Hépatite vibrionique aviaire	5	-	4	4	5	5	4	5	5	5	3
Spirochétose	5	-	5	-	5	5	5	4	5	4	3
Syndrome du jeune canard	5	-	4	5	5	3	5	4	5	5	5

[α] Échelle numérique allant de 1 (courant) à 6 (très rare).

[β] Aucune évaluation disponible.

La plupart du temps, les septicémies néo-natales sont produites par E. coli, les streptocoques, les staphylocoques, les corynebactéries, Fusobacterium necrophorum (Sphaerophorus necrophorus) et les pasteurelles qui pénètrent par l'ombilic ou par ingestion. Chez les jeunes animaux, la polyarthrite est causée par Chlamydia psittaci et, comme sa forme bactérienne, elle s'accompagne de diarrhée. Dans ces cas, les mesures prophylactiques comprennent des précautions hygiéniques à la parturition et le traitement du cordon ombilical avec un agent antiseptique.

Pasturella multocida, couramment isolé d'oiseaux en bonne santé, est l'organisme causal de la septicémie hémorragique chez la volaille; elle s'accompagne de diarrhée liquide abondante (choléra aviaire). Pasturella anatipestifer provoque aussi la septicémie chez les jeunes canards. Les méthodes de prévention du choléra aviaire comprennent l'exclusion des poulaillers des oiseaux sauvages porteurs, l'application de mesures hygiéniques et la vaccination prophylactique.

6.1.2 ABCÈS PODAUX (PODODERMATITE NÉCROTIQUE)

Les abcès podaux désignent un grand nombre de nécroses des tissus se trouvant à l'intérieur et autour des onglons, produites par une infection mixte de bactéries anaérobies à gram-négatif, notamment Fusobacterium necrophorum (Sphaerophorus necrophorus), qui fait partie de la flore naturelle de l'homme et des animaux, Bacteriodes nodusus (Fusiformis nodusus) et le spirochète Spirochaeta penortha. Dans le cas des bovins, F. necrophorum pénètre dans une lésion de la peau qui a pu être causée par une exposition prolongée à la boue et au fumier. Cet agent pathogène contamine fréquemment les zones où l'on trouve beaucoup de moutons. Toutefois, B. nodusus ne peut survivre ni dans le sol ni dans le fumier.

Les mesures prophylactiques comprennent le nettoyage fréquent de l'aire utilisée par les animaux, le remplissage des zones qui contiennent de l'eau stagnante, l'utilisation d'une litière sèche traitée avec un désinfectant sur les sols en béton à surface rugueuse (Greenfield et Bigland 1977), le traitement pédicurique régulier et la vaccination (Egerton et Robert 1971).

Les vétérinaires et les autres personnes chargées de s'occuper des animaux malades peuvent être infectés par F. necrophorum par des petities lésions de la peau.

6.1.3 ÉRYSIPÈLES

L'organisme causal, Erysipelothrix rhusiopathiae (E. insidiosa), se retrouve fréquemment dans la nature et peut survivre pendant de longues périodes dans le sol, spécialement s'il est alcalin (Wood et Packer 1972). La maladie affecte surtout le porc, mais aussi

l'homme, le mouton, la volaille et en particuler la dinde. La maladie peut se présenter sous quatre formes différentes chez le porc et peut toucher la peau, le coeur et les jointures des pattes. Les animaux infectés excrètent E. rhusiopathiae dans les matières fécales mais l'organisme a aussi été isolé dans les excréments d'animaux sains (Wood 1974). Les agneaux et les dindes sont infectés par la peau. La présence de diarrhée chez les dindes favorise l'apparition d'épidémie à l'automne lorsqu'on les fait engraisser. Comme prophylaxie, il faut éviter les zones de sol contaminées, pratiquer des mesures hygiéniques, par exemple désinfecter l'aire utilisée par les animaux, faire abattre les animaux infectés, utiliser le vaccin et administrer rapidement de la pénicilline dès que la maladie a été diagnostiquée. On peut retracer les infections apparaissant chez les humains à un contact avec des produits provenant des animaux, par exemple la viande, les peaux, les os ou le fumier.

6.1.4 MALADIES DUES AUX CLOSTRIDIES

a) Entérotoxémies

Ces maladies sont causées par des entérotoxines (Tableau 6-2) surtout produites dans l'intestin des animaux nouveau-né après la prolifération de quelques-uns des six biotypes de la bactérie anaérobie formant des spores Clostridium perfringens. Cet organisme fait partie de la flore bactérienne intestinale normale de l'homme et des animaux. On peut aussi l'isoler facilement du sol.

Les mesures préventives comprennent la vaccination des femelles gravides de façon à immuniser passivement les agneaux, l'augmentation de la proportion de foin dans la diète riche en hydrates de carbone dans le cas des agneaux engraissés au champ, l'utilisation d'antibiotiques dans l'eau et le fourrage des volailles et la désinfection et l'élimination de la litière contaminée de l'aire utilisée par les animaux.

b) Toxémies

Ces maladies sont produites par les exotoxines qui apparaissent dans les blessures où les clostridies prolifèrent. Cette bactérie n'est pas rare dans la flore intestinale des animaux. Au Tableau 6-3, on trouvera le principal agent pathogène correspondant à chaque maladie, bien qu'un grand nombre de maladies puissent résulter d'infections mixtes. La prophylaxie comprend la vaccination et la mise en pratique de mesures hygiéniques, dont l'élimination du fumier.

6.1.5 DYSENTERIE

a) Dysenterie d'hiver des bovins

La bactérie Campylobacter fetus, sous-espèce jejuni (vibrio jejuni), qui fait partie de la flore intestinale normale des animaux,

Tableau 6-2. Entérotoxémies causées par des biotypes de *Clostridium perfringens*.

Biotype	Maladie	Espèces infectées
A	Entérite ulcéreuse	Volaille, en particulier la caille
B	Dysenterie de l'agneau	Agneaux, veaux et poulains nouveau-nés
C	Struck (entérotoxémie hémorragique)	Agneaux et veaux nouveau-nés
D	Maladie du rein pulpeux	Agneaux nouveau-nés et engraissés au champ
E	Agent pathogène inconnu	Mouton et bovin
F	Entérite nécrosante	Humain

Tableau 6-3. Toxémies dues aux clostridies.

Organisme causal	Maladie	Espèces infectées
Cl. septicum	Oedème malin (Braxy)	Bovins, procins et moutons
Cl. chauvoei	Charbon symptomatique	Bovins et mouton
Cl. haemolyticum	Hémoglobinémie infectieuse	Bovins
Cl. novyi	Hépatite nécrotique infectieuse	Mouton
Cl. sordelli	Maladie de "la tête enflée"	Mouton
Cl. tetani	Tétanos	Bovins, porcins, mouton et humain
Cl. perfringens et autres	Gangrène gazeuse	humain

est, croit-on, un des principaux agents pathogènes de la dysenterie d'hiver des bovins de tout âge.

b) Dysenterie du porc

Le principal organisme causal est le spirochète Treponema hyodysenteriae (Taylor et Alexander 1971; Harris et al. 1972). Cet organisme persiste dans les réservoirs et les étangs à fumier. La maladie est contractée par ingestion d'excréments infectés.

c) Hépatite vibrionique aviaire

Il s'agit d'une maladie de la volaille qui attaque les oiseaux adultes et peut être confondue avec le choléra aviaire. Elle est causée par des vibrions, probablement du biotype proteus de Vibrio cholerae (V. metchnikovii) et est caractérisée par la dégénération du parenchyme hépatique et une nécrose du foie.

6.1.6 SALMONELLOSE

N'importe laquelle d'un grand nombre de salmonelles peut infecter l'homme et les animaux. Certaines espèces ne s'attaquent qu'à des hôtes particuliers: S. typhi infecte l'homme (fièvre typhoïde), S. dublin infecte les bovins, provoquant souvent l'avortement (Hinton 1975), alors que S. pullorum infecte la volaille. Bien qu'il existe de nombreuses sources d'infection, notamment le fourrage contaminé, la principale est constituée par les excréments des animaux infectés. Une fois introduite, la maladie se répand rapidement par la diarrhée qui contamine le fourrage, l'eau et les pâturages. Les salmonelles peuvent survivre, spécialement dans le fumier, pendant de nombreux mois (Taylor et Burrows 1971; Tannock et Smith 1972). Parmi les mesures prophylactiques possibles, on compte les médicaments préventifs, la désinfection régulière, la quarantaine des nouveaux animaux et la vaccination.

6.1.7 LEPTOSPIROSE

Les leptospiroses constituent un groupe de maladies très répandues chez l'homme et les animaux; elles sont causées par les leptospires (Busch 1970). Seule une espèce, L. interrogans, est officiellement reconnue, et les nombreuses formes qui ont été isolées sont probablement des sérotypes plutôt que des espèces véritables. Chez les bovins, les porcins et le mouton, la leptospirose est souvent asymptomatique. Les rongeurs sont les hôtes naturels de la plupart des leptospires pathogènes, par exemple le rat (Rattus norvegicus) et le mulot (Microtus orvalis). Ce dernier est l'hôte principal de L. grippotyphosa qui infecte les bovins et l'homme (fièvre des marais).

Les leptospires peuvent survivre pendant de longues périodes dans l'eau, et la leptospirose est souvent considérée comme une maladie transmise par l'eau (Craun 1976). À l'extérieur de l'hôte et en milieu sec, sa survie est de courte durée; d'après des expériences, l'organisme ne persiste que 11 jours dans du fumier de bovin aéré (Diesch et al. 1971). La prévention de la maladie exige l'élimination des rongeurs, et la pose de barrières autour des eaux contaminées. La vaccination est une mesure prophylactique appropriée. L'eau contaminée par l'urine infectée peut transmettre la maladie à l'homme (Nelson et Ager 1973).

Borrelia anserina, un autre spirochète pathogène, provoque la spirochétose chez la volaille, à la faveur de conditions humides. La maladie se transmet par les excréments humides ainsi que par les insectes suceurs.

6.1.8 BRUCELLOSE

La brucellose (Biberstein et Cameron 1961) se contracte par contact direct ou par ingestion de Brucella abortus (bovins), B. suis (porc) ou B. melitensis (ovins), qui sont partiellement spécifique à un hôte donné, présent dans le fourrage et l'eau contaminée par les animaux infectés. Les brucellas ne peuvent survivre que 2 heures à la lumière du soleil, mais jusqu'à 2 mois dans un foetus en décomposition ou dans du fumier humide (Plommet 1972).

Le plan de prophylaxie est basé sur la protection des troupeaux sains par vaccination et quarantaine stricte des nouveaux animaux. L'abattage des animaux infectés, les mesures d'hygiène, en particulier l'élimination rapide et sûre des foetus et du fumier contaminé, ainsi que la désinfection sont essentiels pour éviter la propagation de la maladie. L'humain peut être infecté par trois types de brucellas (fièvre ondulante). Cette maladie est fréquente chez les personnes s'occupant des animaux infectés. Les organismes peuvent pénétrer dans la peau intacte.

6.1.9 MALADIES MYCOBACTÉRIENNES

La maladie de Johne est une infection chronique chez les bovins, le mouton et la chèvre; cette maladie, causée par Mycobacterium paratuberculosis, est caractérisée par l'épaississement de la paroi intestinale, une diarrhée et une perte de poids progressive. L'organisme causal est excrété dans la matière fécale et peut survivre jusqu'à un an dans le sol ou les excréments. Cette maladie apparaît habituellement après l'introduction d'un animal infecté dans un tropeau sain.

D'autres membres du genre Mycobacterium provoquent la tuberculose chez un certain nombre d'espèces animales. La tuberculose des bovins est particulièrement dangereuse, car l'homme peut contracter

la maladie par le lait contaminé. Les bacilles provoquant les tubercules sont incapables de se multiplier à l'extérieur de leurs hôtes, mais ils peuvent exister dans l'environnement. Malgré tout, les animaux et les humains infectés sont les principaux porteurs de la maladie. Au Canada, cette maladie a été éliminée par dépistage et abattage des animaux infectés.

La tuberculose aviaire se traduit principalement par une lésion intestinale, alors qu'elle est le plus souvent pulmonaire chez l'homme et le bétail. La volaille infectée excrète l'organisme causal, M. avium, dans les excréments. M. avium persiste jusqu'à 4 ans dans le sol contaminé. La tuberculose ne constitue pas un problème sérieux pour l'industrie de la volaille, en raison des changements rapides de population et de mesures d'hygiènes améliorées.

6.1.10 CHARBON BACTÉRIEN

Au Canada, les cas de cette maladie rare (Tableau 6-1) ont été associés à des dépressions humides dans les sols alcalins où les spores de Bacillus anthracis peuvent végéter (Van Ness 1975). L'infection du bétail résulte de l'ingestion de fourrages contaminés par les spores. Les animaux malades sont traités aux antibiotiques et les animaux sains sont vaccinés. Si la maladie apparaît, il est essentiel d'éliminer rapidement les animaux morts, de détruire le fumier et la litière en les brûlant et d'établir des mesures hygiéniques s'appliquant aux employés qui auraient pu entrer en contact avec la maladie. Le charbon bactérien est une maladie professionnelle chez les personnes qui s'occupent des animaux et des produits d'animaux contaminés.

6.2 CHAMPIGNONS

Les vrais champignons, Eumycetes, d'importance médicale et vétérinaire, sont surtout des saprophytes ou des commensaux qui peuvent devenir des agents pathogènes opportunistes. L'habitat normal de la plupart des champignons pathogènes est, croit-on, le sol (Ajello 1956), où ils existent sous forme de saprobes poussant sur des tissus animaux kératinisés et sur d'autres matières organiques.

Les principales mycoses affectant l'homme et ses animaux, à l'exception des dermatophytes, ne sont pas contagieuses; cependant, elles sont contractées après exposition aux spores libérées de leur habitat naturel. Les mycoses contractées dans l'environnement externe, par inhalation ou pénétration dans les blessures, sont qualifiées d'exogènes, alors que celles causées par les organismes de l'environnement interne, par exemple l'appareil digestif, sont qualifiées d'endogènes (Ainsworth et Austwick 1973).

6.2.1 MYCOSES EXOGÈNES

La plupart des mycoses exogènes sont contractées par inhalation de spores libérées du sol (par exemple la blastomycose, la coccidioïdomycose et l'histoplasmose) ou du fourrage contaminé (par exemple l'aspergillose) ou encore par avortement mycotique causée par Petriellidium boyddi. Sauf dans le cas d'épidémies localisées, les mycoses exogènes sont rares. La relation entre ces maladies et le fumier n'est pas évidente à première vue, car seules quelques-unes infectent l'appareil digestif et sont contractées par ingestion. Le fumier n'agit que comme substrat organique qui, lorsqu'on l'ajoute au sol, favorise la prolifération des champignons, dont certains peuvent être pathogènes. Le fumier peut aussi contenir des agents pathogènes provenant de fourrage contaminé, par exemple par Mucor pusillus (Bell 1975) et Petriellidium boyddi (Bell 1976a). Le fumier peut devenir une source d'agents pathogènes fongiques exogènes si on le laisse se décomposer dans une aire où sont élevés des animaux, dans des conditions favorisant la croissance fongique.

6.2.1.1 Aspergillose

Chez la volaille, l'aspergillose est principalement une infection respiratoire causée fréquemment par l'espèce thermotolérante Aspergillus fumigatus. Chez les bovins, le syndrome le plus important est l'avortement résultant d'une infection pulmonaire. Les humains comme les animaux peuvent contracter cette maladie par l'exposition à du fourrage contaminé par le champignon (Emmons et al. 1970).

6.2.1.2 Cryptococcose

Cette maladie est habituellement une infection chronique souvent fatale pour les bovins, les chevaux et les porcins, alors que chez l'homme elle se manifeste le plus souvent par une légère infection pulmonaire transitoire. La levure pathogène, Cryptococcus neoformans, est associée étroitement aux vieux nids de pigeon et à leurs excréments (Emmons 1955). On l'a isolé du lait et on l'a associé à la mammite des bovins (Ainsworth et Austwick 1973).

6.2.1.3 Histoplasmose

La prolifération du champignon Histoplasma capsulatum dans le sol est associée à la présence d'excréments d'oiseaux ou de chauves-souris (Ainsworth et Austwick 1973). Au Canada, on le trouve surtout dans le bassin des Grands Lacs. La maladie n'est pas courante chez les bovins, les chevaux et l'humain, mais elle pourrait le devenir si l'on ne modifie pas les pratiques actuelles d'élimination du fumier de volaille dans la région endémique (Bell 1976b).

6.2.2 MYCOSES ENDOGÈNES

6.2.2.1 Candidose

Les levures du genre Candida, en particulier C. albicans, font partie de la microflore normale de l'oesophage des animaux domestiques. La prolifération de cet agent pathogène peut se produire très rapidement lorsque la flore bactérienne antagoniste est éliminée. La maladie affecte les voies alimentaires supérieures, en particulier le jabot des jeunes dindes, des poussins et des oies, sans autre symptômes observables. On la prévient en ajoutant du sulfate de cuivre à l'eau potable (Hart 1947) ou de la nystatine au fourrage (Kahn et Weisblatt 1963). Les porcs sont souvent infectés. La candidose est une maladie largement répandue, et on a associé l'espèce Candida à la mammite mycotique et à l'avortement mycotique (Ainsworth et Austwick 1973).

6.3 CONCLUSION

D'après les résultats de l'étude provinciale (Tableau 6-1), les bactéries qui constituent la flore intestinale normale d'animaux sains sont à l'origine des maladies les plus courantes associées au fumier. Par conséquent, il est préférable d'éloigner les animaux de leurs excréments le plus tôt possible.

Les maladies bactériennes moins courantes, transmises par les animaux porteurs infectés, semblent être causées par des agents pathogènes plus particuliers. Les mesures hygiéniques ne préviendront pas à elles seules l'apparition de ces maladies, mais elles permettront de les circonscrire à l'intérieur d'un troupeau, comme dans le cas de la brucellose ou de la maladie de Johne. La prévention de ce type de maladies par la mise en quarantaine des nouveaux animaux et la vaccination est le seul moyen de les éradiquer. L'administration prophylactique d'antibiotiques et d'autres médicaments ne protègent pas le troupeau de façon permanente: en l'absence de médicament, les animaux redeviennent susceptibles à l'infection, et l'administration continue d'antibiotiques risque de faire apparaître des souches résistantes de micro-organismes pathogènes.

Les agents pathogènes fongiques affectent surtout l'industrie des volailles où la candidose et l'aspergillose ont des conséquences économiques désastreuses. Les champignons sont surtout à l'origine des mammites et des avortements chez le bétail (Miller et Quinn 1975) ayant inhalé des spores libérées par le fourrage contaminé. Les mycoses systémiques spécifiques et bien enracinées, bien que peu fréquentes, ne doivent pas être oubliées. Il est possible d'éliminer efficacement les infections exogènes les plus courantes, causes de mammites et d'avortements, en utilisant du fourrage de bonne qualité et en interdisant au bétail l'accès au fumier qui se décompose dans des conditions favorisant la prolifération des champignons.

Le fumier menace beaucoup plus le bétail que l'humain, car les animaux y sont plus exposés. Les personnes les plus en danger sont celles directement exposées aux agents pathogènes à cause de leur participation à la production animale et à la transformation des produits d'origine animale. Le grand public est protégé de l'exposition indirecte par des règlements stricts qui régissent la transformation des aliments et leur vente. Toutefois, les bactéries risquent toujours de s'échapper des sites d'élevage et de se disperser dans l'environnement, comme le tétanos en temps de guerre.

7.0 PRÉSENCE DANS LE FUMIER DE VIRUS PATHOGÈNES POUR LES ANIMAUX

H.J. Smith[α]

Les virus forment un groupe unique d'organismes; en effet, leur matériel génétique comprend exclusivement soit de l'acide désoxyribonycléique (ADN), soit de l'acide ribonucléique (ARN). Les petits virus ne contiennent que l'un de ces deux constituants, alors que ceux qui sont plus complexes peuvent aussi contenir des lipides, des polysaccharides et des éléments traces. Les virus des animaux ne contiennent pas de systèmes enzymatiques et ne présentent aucun métabolisme indépendant. Ils utilisent la synthèse métabolique des cellules vivantes pour se multiplier et n'ont aucune activité métabolique à l'extérieur des cellules (Gratzek 1967; Rhodes et van Rooyen 1968).

Au cours des dernières années, les virus ont été classés dans de nombreux groupes, notamment les poxvirus, les herpès virus, les adénovirus, les picornavirus, les myxovirus, les calicivirus, les rhabdovirus et les parvovirus. Leur taille varie de 13 à 35 nm dans le cas des picornavirus à 200-300 mm pour les poxvirus.

7.1 TRANSMISSION DES VIRUS

7.1.1 EXCRÉTION DE VIRUS

Dans le cas d'infections virales aiguës, le virus est habituellement excrété pendant la phase aiguë de la maladie et quelquefois pendant la convalescence. Toutefois, son excrétion cesse rapidement par la suite. Dans certaines maladies, le virus peut toutefois continuer à être excrété soit continuellement, soit de façon intermittente pendant des mois ou des années. L'excrétion des virus peut se faire par la peau, les sécrétions nasopharyngiennes, la salive, les sécrétions conjonctivales, le lait, l'urine et les excréments des animaux infectés. Parmi les virus excrétés dans les excréments, on compte les picornavirus (entérovirus), les réovirus, les herpès virus, les adénovirus, les rotavirus et les myxovirus. Parmi les importantes maladies du bétail pouvant être transmises par les excréments, on compte la maladie de Teschen, la gastro-entérite contagieuse du porc, l'encéphalomyélite aviaire, la peste porcine, la peste porcine africaine, la fièvre aphteuse, l'exanthème vésiculaire et la peste bovine (Blood et Henderson 1963). Dans certaines autres maladies, le virus n'est pas normalement excrété avec les matières fécales, mais peut toutefois les infecter, ainsi que la litière, par les sécrétions nasales, la salive, les débris de peau, etc. Ce groupe comprend la

---

α Direction de l'hygiène vétérinaire, Laboratoire de la région de l'Atlantique, Agriculture Canada, Sackville (N.-B.).

rhinopneumonie équine virale, la rhino-trachéite infectieuse bovine, l'ecthyma contagieux, diverses sortes d'influenza et la maladie de Marek chez les poulets.

7.1.2 TRANSMISSION PAR LES ARTHROPODES

Des mouches peuvent contribuer activement à la propagation de certaines maladies virales, soit mécaniquement sur leur corps soit par régurgitation des substances ingérées. Il semble que les entérovirus excrétés dans les excréments peuvent survivre et même se multiplier chez la mouche bleue de la viande (Phormia) qui les excrète pendant quelques semaines (Rhodes et van Rooyen 1968).

D'autres arthropodes, notamment les tiques, les phlébotomes et les maringouins, jouent le rôle d'hôtes essentiels ou biologique (arbovirus) ou de porteurs mécaniques d'autres virus (papillome du lapin, fibrome du lapin, diphtérie aviaire, anémie équine infectieuse) sans être infectés par contact ou par contamination fécale (Fenner et al. 1974).

7.1.3 TRANSMISSION PAR LES NÉMATODES

La grippe porcine est une maladie hautement contagieuse qui persiste, croit-on, chez la larve du troisième stade du nématode Metastrongylus elongatus à l'intérieur de l'hôte intermédiaire, le ver de terre (Shope 1965). C'est ainsi qu'on a postulé que cette maladie persistait d'une épizootie à l'autre. De même, on croyait que le virus du choléra porcin pouvait aussi être transmis par les parasites Metastrongylus elongatus (Shope 1965). Il semble maintenant que les porteurs convalescents servent de réservoirs du virus entre les épizooties (Blood et al. 1979).

7.1.4 FAUNE

Certains virus sont très spécifiques, mais un grand nombre d'entre eux peuvent s'établir dans différents hôtes. Le rôle de la faune dans la transmission des virus par contamination fécale des pâturages et l'environnement du bétail est très mal connu.

7.2 FACTEURS INFLUANT SUR LA SURVIE DES VIRUS

7.2.1 LUMIÈRE ULTRAVIOLETTE (UV)

Contrairement aux rayons X, la lumière UV désactive les virus et cette désactivation est caractérisée par une courbe exponentielle.

Le taux de désactivation par UV est habituellement stable et est caractéristique pour chacun des virus (Gard et Maaløe 1959).

7.2.2 LUMIÈRE DU JOUR

La lumière naturelle peut désactiver les virus, mais son effet dépend du type de virus et d'autres facteurs. Des suspensions fraîches non filtrées de souche de stomatite vésiculaire, de grippe, de maladie de Newcastle et de peste de la volaille ont été fortement désactivées après exposition à la lumière du jour pendant 4 heures, alors que le virus de la fièvre aphteuse se stabilisait (Gard et Maaløe 1959). Dans des suspensions contenant des cellules vivantes, certains virus étaient protégés et d'autres pas. La nocivité des virus de la maladie de Newcastle disparaissait avant leur activité hémagglutinante, lorsqu'ils étaient exposés en présence d'oxygène. En l'absence d'oxygène, on n'a observé aucune désactivation (Gard et Maaløe 1959).

7.2.3 TEMPÉRATURE

Les virus peuvent être désactivés par la température; cependant un grand nombre résistent de façon remarquable aux températures élevées, par exemple la plupart des streptocoques peuvent résister à la pasteurisation commerciale normale du lait, soit 62°C pendant 30 minutes (Gard et Maaløe 1959). La désactivation dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment la concentration du virus, le milieu ou la substance portant le virus, l'état d'hydratation et l'environnement ionique. Par exemple, le poliovirus est beaucoup plus résistant dans le crême glacée que dans une suspension aqueuse. A l'état sec, certaines particules de poliovirus résistent aux températures comprises entre 40 et 60°C. Comme de nombreux facteurs peuvent influer sur la résistance des virus à la chaleur, il est difficile de déterminer les températures minimales de désactivation.

Par ailleurs, la plupart des virus sont assez stables aux températures voisines de 0°C en milieu neutre. Les dommages causés aux virus par le gel, le stockage à basse température et le dégel sont dus à une teneur élevée en sel résultant de l'élimination de la plupart de l'eau par cristallisation ou aux activités enzymatiques qui peuvent se poursuivre à un taux assez élevé si la température de stockage n'est pas suffisamment basse. Cependant, la désactivation par les enzymes peut être interrompue si l'on abaisse la température au-dessous de -40°C. Le taux de refroidissement influe aussi sur la résistance des virus aux basses températures: un refroidissement rapide jusqu'à -40°C ou un refroidissment lent jusqu'à une température comprise entre -80 et -90°C ne faisait pas diminuer de façon importante le titre du virus de l'influenza, mais un refroidissment rapide jusqu'à des températures supérieures à -40°C, ou un refroidissement lent jusqu'à des températures supérieures à -80°C, réduisait définitivement le titre du virus (Gard et Maaløe 1959).

7.2.4 DESSICCATION

De nombreux virus peuvent être complètement desséchés et survivre indéfiniment dans cet état à basse température. En présence d'un agent protecteur, de nombreux virus survivent bien à la dessiccation.

7.2.5 OXYDATION

L'oxydation par aération serait l'un des facteurs contribuant à la désactivation "spontanée" des virus, même si les preuves à l'appui de ce phénomène sont surtout indirectes. On sait, par exemple, que les virus sont plus sensibles à d'autres oxydants plus puissants; d'ailleurs l'effet préservateur de la lyophilisation et l'addition de substances réductrices nous fait pencher pour cette hypothèse (Gard et Maaløe 1959).

7.3 SURVIE DES VIRUS À L'EXTÉRIEUR DE L'HÔTE

En général, les virus ne survivent pas longtemps à l'extérieur des animaux hôtes (Gratzek 1967), ce qui s'applique aussi, sans aucun doute, à la plupart des virus pathogènes pour le bétail. Néanmoins, la propagation des virus par les matières fécales et les autres matières excrétées joue un rôle extrêmement important dans le nombreuses épizooties. Certains virus survivent dans les déchets et peuvent être facilement récupérés de cette source (McLean 1973). Dans les climats froids, de nombreuses maladies virales sont plus répandues pendant l'été (Rhodes et van Rooyen 1968). On sait, par exemple, que le virus de la poliomyélite survit pendant quelques mois dans l'eau stockée en laboratoire et que l'eau contaminée peut propager le virus de l'hépatite infectieuse (McLean 1973; Rhodes et van Rooyen 1968). Le virus de l'ecthyma contagieux est un bon exemple d'un virus extrêmement résistant. En effet, il résiste à la dessiccation et peut survivre à la température ambiante pendant au moins 15 ans (Hart et al. 1949). Les gales provenant des lésions de cette maladie sont très infectieuses pendant longtemps.

On a apparemment réalisé peu de recherches sur la survie des virus affectant le bétail dans le fumier soumis à divers traitements. Il ne fait aucun doute que la désactivation de la plupart des virus est fortement accélérée par le stockage, le chauffage, la dessiccation, le compostage, le traitement anaérobie et les traitements chimiques qu'on fait subir au fumier.

8.0 PRÉSENCE DANS LE FUMIER DE PARASITES PATHOGÈNES POUR LES ANIMAUX

H.J. Smith[α]

Les parasites sont des organismes qui vivent à l'intérieur (endoparasites) ou à l'extérieur (ectoparasites) d'un animal, à ses dépens. La plupart des endoparasites sont des nématodes, des trématodes, des cestodes ou des protozoaires. Leur cycle de vie comprend des stades parasitaires et non parasitaires. Le stade d'autonomie commence habituellement avec le rejet de kystes, d'oeufs ou de larves dans les excréments ou l'urine de l'hôte. Certains parasites peuvent aussi passer une partie de leur vie dans un ou plusieurs hôtes intermédiaires.

Les nématodes, qui constituent peut-être le groupe de parasites le plus important pour le bétail, traversent plusieurs stades de développement à l'état d'autonomie. Les oeufs produisent une larve qui se transforme en une larve du deuxième stade qui à son tour se transforme en larve du troisième stade ou larve infectieuse. Les nématodes diffèrent par leurs caractéristiques et leur développement morphologiques, qui conditionnent leur capacité à survivre dans des conditions environnementales défavorables. Les oeufs d'ascarides et de trichures ont des parois extrêmement épaisses, et les larves infectieuses se développent dans les oeufs qui n'éclosent qu'après avoir été ingérés. Ces deux types d'oeufs comptent parmi les nématodes les plus résistants qu'on connaisse. Les oeufs d'autres vers, notamment les vers intestinaux filaridés de l'espèce Nematodirus résistent aussi très bien à des conditions défavorables: encore dans ce cas, l'éclosion ne se fait qu'après le développement du stade infectieux. Cependant, la plupart des oeufs de nématodes éclosent après le développement du premier stade larvaire qui se transforme par la suite en stades vivant de façon autonome dans l'environnement. La larve du troisième stade, soit la larve infectieuse, résiste mieux aux influences adverses que les deux stades non infectieux.

Les oeufs de trématodes et de cestodes sont rejetés avec les excréments mais la plupart d'entre eux, sinon la totalité, passent une partie de leur vie dans un ou plusieurs hôtes intermédiaires avant de retourner dans l'hôte définitif.

Les stades d'autonomie des protozaires débutent lorsque les ookystes ou d'autres formes sont éliminés avec les excréments. Chez les coccidies, le stade d'autonomie s'appelle sporogonie; les ookystes rejetés avec les excréments forment des spores qui à leur tour se transforment en sporoblastes, puis finalement en sporozoïtes. Les

---

α Direction de l'hygiène vétérinaire, Laboratoire de la région de l'Atlantique, Agriculture Canada, Sackville, (N.-B.).

ookystes résistent mieux aux conditions défavorables après avoir sporulé. Chez d'autres protozoaires, des formes végétatives peuvent être rejetées avec les excréments mais elles deviennent des kystes après avoir été exposées à des stimuli environnementaux.

8.1 FACTEURS INFLUANT SUR LA SURVIE DES PARASITES AU STADE D'AUTONOMIE

8.1.1 EXIGENCES PHYSIOLOGIQUES

a) Nourriture. Les oeufs de vers dont le développement se fait entièrement à l'intérieur de l'oeuf, par exemple les ascarides et les trichures, possèdent des réserves de nourriture importantes et peuvent vivre très longtemps (5 à 10 ans ou plus) sans apport extérieur de nourriture. Les oeufs qui possèdent de faibles réserves libèrent rapidement la larve du premier stade. Au cours des deux premiers stades, les larves se nourrissent sans doute en grande partie de cellules bactériennes (Rogers 1962). Les larves infectieuses ne s'alimentent pas et subsistent uniquement grâce aux réserves de nourriture stockées dans leurs cellules intestinales.

b) Oxygène. Les oeufs des espèces étudiées consommaient de l'oxygène (Rogers 1962). La baisse du pO_2 (pourcentage de O_2) dans l'environnement ralentit leur développement. Celui-ci s'interrompt en milieu anaérobie et reprend en présence d'oxygène; les oeufs d'ascarides peuvent survivre sans oxygène pendant plus de six semaines. On connaît mal les besoins en oxygène des larves autonomes du premier et du deuxième stade, mais l'on sait que la larve infectieuse filaridée en consomme. Cette larve ne survit par longtemps en milieu anaérobie.

c) Métabolisme. Les oeufs et les larves autonomes produisent du dioxyde de carbone. On a montré que les oeufs d'ascarides consommaient du dioxyde de carbone pendant leur développement. Le respiration des oeufs dont l'éclosion se fait à l'extérieur de l'hôte et celle des larves infectieuses sont fortement inhibées par le cyanure. A l'obscurité, le monoxyde de carbone joue aussi efficacement le rôle d'inhibiteur. Cependant, l'action inhibitrice de ces substances est largement réversible. On connaît peu le métabolisme intermédiaire des larves infectieuses (Rogers 1962).

8.1.2 TEMPÉRATURE

La plupart des oeufs et des larves de ver semblent être sensibles aux températures qui dépassent de beaucoup celle de leur hôte. Tous les oeufs et toutes les larves de strongyles équins meurent en quatre jours, sauf ceux dans la couche superficielle de cinq pouces d'épaisseur, à cause de la chaleur naturelle (pouvant aller jusqu'à 41,6°C) produite par le chauffage du fumier (Cameron 1940). Les oeufs de trichures canins peuvent survivre pendant 12 jours à 50°C (Soulsby 1965).

La chaleur tue tous les parasites et, sous forme d'eau très chaude ou de vapeur vive, elle constitue l'un des désinfectants les plus efficaces. C'est d'ailleurs le seul désinfectant pratique contre les ascarides. En effet, les oeufs d'ascarides peuvent être tués expérimentalement en une seconde à 70°C, en 2 secondes à 65°C et en 5 secondes à 60°C (Cameron 1940).

Par contre, de nombreuses espèces de parasites résistent remarquablement bien aux températures très faibles pendant longtemps. En général, les ookystes ayant sporulé peuvent survivre jusqu'à 14 jours à une température comprise entre -12 et -20°C, alors que ceux qui n'ont pas encore sporulé meurent en 4 jours (Soulsby 1968). Les oeufs de trichures peuvent survivre à -20°C pendant longtemps, alors que les oeufs d'ascarides résistent aux températures comprises entre -20 et -30°C pendant 90 jours (Soulsby 1965). Le ver intestinal filaridé du mouton, Nematodirus filicollis, a survécu à une température de -6,5°C même après congélation et décongélation répétées. Une proportion de 22% d'un échantillon congelé de façon continue a survécu pendant 22 semaines (Soulsby 1965).

8.1.3 DESSICCATION

La dessiccation complète est extrêmement létale pour toutes les espèces de parasites. Les oeufs et larves de parasites desséchés sont aussi beaucoup plus sensibles aux autres facteurs, comme la température et la lumière du soleil. Par exemple, quelques oeufs de Taenia pisiformis ont survécu pendant plus de 7 jours à une température de 38°C et à une humidité relative (HR) de 33%, cependant certains oeufs étaient encore viables après 300 jours à 4°C et à une HR de 90% (Comon 1975). Même les oeufs d'ascaride et de trichure à parois si épaisses et si résistantes sont sensibles à la dessiccation, bien que certains d'entre eux puissent rester vivants encore longtemps dans les excréments desséchés. L'auteur a montré que les oeufs d'Ascaris suum étaient encore viables après avoir passé plus de cinq ans dans des excréments secs de cochon dans une étable vide des Maritimes (données non publiées). On a connu des épizooties de trichuriose chez des veaux qui se nourrissaient de fumier desséché et chez des moutons qui broutaient pendant une période de sécheresse (Smiths et Stevenson 1970).

8.1.4 LUMIÈRE DU SOLEIL

La lumière directe du soleil est létale pour les oeufs et les larves de parasite. Les ookystes de coccidie peuvent mourir en quatre heures seulement lorsqu'ils sont exposés directement à la lumière solaire, alors que les oeufs d'Ascaris ne succombent qu'au bout de quelque semaines (Soulsby 1965). Malgré la létalité de la lumière directe du soleil, de nombreuses larves de parasites ont un phototropisme positif à la lumière douce, alors qu'elles évitent la lumière forte. C'est pourquoi on trouve plus de larves sur l'herbe le

matin ou tard le soir qu'aux autres moments de la journée. La migration des larves autonomes est favorisée à une intensité de 670 lx (62 bougies).

8.1.5 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Le nombre d'oeufs et de larves qui survivent et peuvent par conséquent infecter le bétail varie beaucoup d'une saison à l'autre selon le temps qu'il fait. L'accumulation de neige joue un rôle important sur la survie des parasites dans les pâturages pendant l'hiver. La température du sol sous la couverture nivale est inférieure ou égale à 0°C, alors que la température du sol exposé fluctue en fonction de la température de l'air (Swales 1940). Les gros écarts de température, même pendant l'été, ont un effet néfaste sur les parasites, qui se traduit apparemment par l'utilisation accélérée de leurs ressources énergétiques.

La quantité de pluie est un facteur essentiel qui détermine le nombre de parasites pouvant persister dans les pâturages. En plus de contribuer à la quantité d'humidité, la pluie influence le taux de croissance de la végétation. À son tour, la quantité de végétation est importante en raison de son influence sur le micro-environnement, les changements de température sont limités alors qu'il peut y avoir une différence allant jusqu'à 6°C entre le tapis et la température de l'air. Par contre, l'herbe courte favorise moins la survie des parasites que les hautes herbes, car elle les protège moins contre la lumière du soleil et la dessiccation. Toutefois, dans ces cas, les animaux doivent brouter plus près du sol, où les parasites sont plus concentrés.

Même en périodes de sécheresse, les parasites peuvent rester viables sans se développer dans les excréments pendant longtemps. Dans ces conditions, l'extérieur des excréments forme rapidement une croute épaisse et sèche qui retient suffisamment d'humidité pour que les oeufs et les larves puissent survivre longtemps (Cameron 1940; Campbell 1960).

La présence de rosée sur les herbes peut faire varier de façon importante le nombre de larves accessibles aux animaux qui broutent. Lorsque la végétation est sèche, les larves descendent plus profondément dans le tapis, ce qui limite leur accessibilité.

8.2 FUMIER DÉPOSÉ OU ÉPANDU DANS LES PÂTURAGES

Les pâturages sont contaminés par les oeufs et larves de parasite lorsque des excréments infectés y sont déposés par les animaux qui broutent ou épandu sous forme de fumier. Le caractère infectieux du fumier varie selon le traitement qu'il a subi avant son épandage sur le

sol. L'ampleur de la contamination des pâturages par les animaux dépend de plusieurs facteurs.

8.2.1 SPÉCIFICITÉ DE L'HÔTE

La plupart des parasites sont très spécifiques, de sorte que les pâturages contaminés sont particulièrement infectieux pour l'espèce d'où proviennent les excréments. C'est pourquoi la gestion des pâturages et l'élimination sélective du fumier joue un rôle important dans la lutte anti-parasitaire.

8.2.2 TRANSMISSION CROISÉE

Alors que de nombreux parasites sont très spécifiques, certaines espèces peuvent apparaître dans plusieurs hôtes, par exemple Trichostrongylus axei peut se retrouver chez les ruminants, les chevaux et les lapins. On signale des cas de transmission croisée de certains parasites gastro-intestinaux, des bovins aux moutons. Cependant, aucun signe clinique marqué n'est apparu, ce qui laisse supposer que le roulement annuel d'une espèce à l'autre dans les pâturages est une méthode de prévention valable (Smith et Archibald 1965a). Par contre, l'apparition de certains parasites chez les hôtes inhabituels peut entraîner des maladies graves, par exemple l'introduction des ascarides porcins chez les bovins (Allan 1962; McGraw et Lautenslauger 1971; Morrow 1968).

8.2.3 TRANSMISSION PAR LA FAUNE SAUVAGE

Bien que la transmission des parasites de la faune sauvage au bétail domestique puisse être considérée comme inhabituelle, étant donné la spécificité de l'hôte, les habitudes de broutage et les différences d'habitats, certaines épizooties importantes ont été attribuées à ces vecteurs. L'apparition de Fascioloïdes magna chez les ruminants domestiques dans un certain nombre de régions en Ontario provenait de l'introduction de wapitis et autres cervidés sauvages infectés qui contaminaient à leur tour les escargots et finissaient par provoquer plusieurs enzooties chez le bétail domestique et d'autres animaux indigènes (Kingscote 1950). Citons aussi l'exemple de l'infection occasionnelle du mouton par Parelaphostrongylus tenuis, parasite normal du cerf à queue blanche (Kennedy et al. 1952; Nielsen et Aftosmis 1964).

8.2.4 EFFLUENTS

Les oeufs et les larvae de parasites s'introduisent souvent dans les pâturages sains par drainage ou ruissellement à partir des tas de fumier.

8.2.5 SURVIE DES PARASITES DANS LES PÂTURAGES

La survie des oeufs et des larves de parasites dans les pâturages est conditionnée par les divers facteurs décrits à la Section 8.1. Néanmoins, certains parasites survivent normalement pendant de longues périodes. On a montré que Ascaris suum pouvait vivre dans le sol humide pendant 2 ans à des températures comprises entre 5 et 20°C (Soulsby 1965). Dans l'est du Canada, de nombreux nématodes de ruminants survivent facilement à l'hiver (Swales 1940; Smith et Archibald 1965b, 1969; Smith 1972, 1974). En effet, d'après Smith (1972), le ver intestinal filaridé du bovin, Nematodirus helvetianus, peut survivre à deux hivers dans les pâturages des Maritimes. Toutefois, il ne faut pas compter sur des conditions météorologiques défavorables pour éliminer de l'environnement les parasites infectieux.

8.2.6 VECTEURS

Divers crustacés, arachnides, insectes, vers de terre, escargots et autres animaux peuvent servir d'hôtes intermédiaires essentiels aux vers plats (trématodes et cestodes) et à de nombreux vers ronds. Un grand nombre de ces parasites peuvent donc survivre pendant des périodes prolongées dans les pâturages, chez le second hôte. Les oeufs du parasite du porc Metastrongylus apri ont des parois épaisses et peuvent survivre longtemps. Cependant, la vie de ce ver peut se prolonger considérablement à l'intérieur de son hôte intermédiaire, soit le ver de terre. Des vers de terre infectés expérimentalement ont survécu pendant 15 mois. On sait que certains d'entre eux peuvent normalement vivre de 4 à 10 ans (Soulsby 1965). Les mouches peuvent servir de porteurs d'oeufs de ver (p.ex. Ascaris) et d'hôte intermédiaires des vers (p.ex. Habronema). Les nématodes spiruridés sont transportés en grande partie par les insectes qui vivent sur le fumier. Les vecteurs jouent donc un rôle important dans la dissémination et la survie des parasites. Les programmes de prévention orientés particulièrement vers ces vecteurs permettent souvent d'éliminer efficacement les parasites.

8.2.7 ENFOUISSEMENT DU FUMIER PAR LABOUR

Le fumier devrait être enfoui par labour dès que possible, ce qui ne garantit pas nécessairement que les oeufs et les larves resteront dans le sol. Les larves peuvent jusqu'à un certain point se déplacer vers le haut et les vers de terre peuvent les transporter à la surface. En Angleterre, Ostertagia et Nematodirus ont pu survivre huit mois de cette façon après avoir regagné la surface du sol. Les ascaridés et les trichures peuvent sans doute survivre encore plus longtemps. Les strongyles équins ont pu survivre pendant quatre ans après avoir été enfouis (Cameron 1940). Les oeufs de parasite du porc Metastrongylus apri restent viables à l'état d'embryons pendant 2 ans dans un sol continuellement humide.

La migration des larves vers le haut dépend du type de sol. Les strongyles équins ne remontent pratiquement pas dans l'argile qui ne présente pas de craques mais peuvent se déplacer de 10 cm vers la surface dans l'argile sableuse et de 12,7 cm dans un loam sableux (Cameron 1940). Par contre, dans le sud des États-Unis, les scarabées, lorsqu'ils sont présents en grand nombre, peuvent réduire considérablement le nombre de larves infectieuses accessibles aux animaux en entraînant sous la surface les excréments infectés (Fincher 1975).

8.3 TRAITEMENT ANTIPARASITAIRE DU FUMIER

8.3.1 STOCKAGE

Tous les oeufs et toutes les larves d'helminthe finiront par disparaître du fumier non traité, à condition qu'il soit stocké assez longtemps. Malheureusement, dans la plupart des cas, le temps nécessaire est trop long pour être pratique.

8.3.2 CHAUFFAGE

Le chauffage est une excellente méthode de destruction des oeufs et larves parasites, à condition que le fumier produise assez de chaleur. À l'exception de ceux se trouvant dans la couche superficielle de 15,2 cm, tous les oeufs et toutes larves de strongyles sont détruites en quatre jours par la chaleur naturelle produite dans le fumier de cheval (Cameron 1940). Si le fumier est confiné dans de boîtes en bois sur le sol ou sous sa surface, il deviendra assez chaud pour détruire tous les parasites sauf ceux dans la couche extérieure de 7,6 cm d'épaisseur. Si le boîtes sont isolées (à parois double, remplies de bran de scie), tous les parasites mourront en moins d'une semaine. On a suggéré que dans les tas de fumier compacts, dont la couche extérieure de 15,2 cm est retournée à tous les 5 jours ou à peu près, les oeufs et les larves sont sans aucune doute détruits dans une proportion très élevée.

La technique selon laquelle on accumule le fumier vers le centre des grands parcs à animaux (Jensen et Mackey 1971) illustre très bien cette méthode. La chaleur dégagée par la fermentation pendant des périodes prolongées tuera sans aucun doute les oeufs et les larves de parasite, sauf peut-être ceux dans le fumier tout récemment ajouté à la surface du tas.

Expérimentalement, l'application de chaleur par exemple sous forme de vapeur à 103 kPa, détruisait tous les oeufs et toutes les larves dans une boîtes à fumier de conception spéciale (Cameron 1940). L'application de chaleur exige par contre des appareils spéciaux qui entraînent certaines dépenses et risquent d'être d'une utilisation

limitée. De même, l'incinération semblerait aussi avoir une application limitée ou restreinte (Canada Committee on Agricultural Engineering Services 1979).

8.3.3 DÉSHYDRATATION

Le séchage est efficace pour tuer les oeufs et les larves pré-infectieuses; il est donc essentiel de sécher le fumier quotidiennement avant que les stades parasites subséquents ne se développent. Cette méthode est surtout appliquée dans les pays au climat chaud et sec. Il existe des séchoirs commerciaux conçus spécialement pour le fumier (Canada Committee on Agricultural Engineering Services 1979), mais il reste à les expérimenter sur le terrain pour connaître leurs avantages.

8.3.4 COMPOSTAGE

Il faut habituellement pour le compostage un produit sec à haute teneur en carbone (paille hachée, épis de maïs broyés ou autres résidus de culture). Utilisé de façon appropriée, le compostage en milieu aérobie est relativement rapide; le fumier atteint naturellement des températures allant de 49 à 71°C (Canada Committee on Agricultural Engineering Services 1979). Ces températures semblent plus qu'appropriées pour tuer les oeufs et les larves de parasite.

8.3.5 TRAITEMENT ANAÉROBIE

D'après les résultats des études effectuées jusqu'à maintenant sur les besoins en oxygène des oeufs et des larves de parasite, un traitement anaérobie permettrait de détruire les parasites que pourrait contenir le fumier. Cette possibilité mérite d'être approfondie.

8.3.6 FERMENTATION

On a récemment rapporté que de la litière de volaille avait été ensilée pour servir de fourrage aux ruminants (Cross et Jenny 1976; Harmon et al. 1975). Au cours de la fermentation à chaud du fumier de bovin liquide par aération à des températures de 35-40°C, la survie moyenne des oeufs de strongyle était de quatre jours; celle des larves de strongyle du 3^{e} stade était de 10 jours; celle des oeufs de Fasciola hepatica et d'ookystes sporulés Eimeria tanella était de 14 jours; celle des oeufs d'Ascaris suum, de Trichuris suis et de Taenia hydatigena était de plus de 14 jours (Enigk et al. 1975). Aux températures dépassant 45°C, il ne fallait que trois jours pour détruire les formes résistantes, sauf les oeufs de Trichuris et de Taenia pour lesquels il fallait cinq jours. D'après Heule (1975), après avoir passé 90 jours dans du fumier de cochon en fermentation à 15-19°C (été) ou 60 jours à

7-8°C (hiver), respectivement 50 à 80% des oeufs d'Ascaris pouvaient encore se développer. Au cours d'essais *in situ* réalisés pendant l'été, les oeufs d'Ascaris mouraient après 75 jours de stockage dans du fumier en fermentation. Heules a conclu qu'en pratique, il fallait stocker le fumier liquide pendant au moins 2,5 mois pour tuer tous les oeufs d'helminthe.

8.3.7 TRAITEMENT CHIMIQUE

La lutte chimique contre les stades autonomes des parasites semble très prometteuse. Il y a lieu d'étudier cette approche de plus près, bien que de nombreuses recherches valables aient été effectuées à ce sujet au Canada il y a de nombreuses années, avec des oeufs de sclérostome équin (Cameron 1940).

L'addition d'un produit chimique aux excréments contenant des oeufs de ver peut avoir sur les oeufs et le larves des effets variés, non seulement conditionnés par leur nature, mais aussi par leur quantité. Ces effets peuvent être négligeables (p. ex. avec le calcaire broyé, le phosphate de roche brute, la poudre de pyrèthre et la racine de derris) ou extrêmement forts (p. ex. la chloropicrine, le cyanure de calcium, le naphtalène, l'ortho- et le paradichlorobenzène et les sels iodés). En quantité suffisante, l'urine présente tous les avantages possibles d'un produit chimique efficace; toutefois, à cause de changements dans sa composition, son efficacité comme antiparasitaire varie considérablement, non seulement suivant l'espèce mais aussi en fonction de la nourriture et de l'état de l'animal d'où elle provient. En général, l'addition d'urine dans une proportion de 30 à 40% de la masse des excréments frais tue les stades autonomes des sclérostomes.

Les engrais artificiels sont pratiques, car si l'on évite les pertes d'azote, on peut compenser leur coût, en partie ou en totalité, par la valeur accrue du fumier. De tous les engrais artificiels, l'urée est le plus puissant, environ 0,75% en masse suffit pour stériliser les excréments contre les sclérostomes. La calurée doit être utilisée au taux de 1,25% et la poudre de cyanamide, au taux d'environ 2% (2,5% pour le cyanamide en granulés). La kaïnite de haute qualité ($KCl.MgSO_4.3H_2O$) au taux de 5% de fumier est l'un des engrais les plus létaux. Si l'on ajoute un peu d'engrais alcalin aux excréments, il y aura dégagement d'ammoniac. Dans le cas de l'urée et de la calurée, une grande partie de l'ammoniac est libéré sous forme de gaz.

Dans de nombreux cas, les quantités ici mentionnées seraient trop élevées pour qu'il soit pratique de traiter tout le fumier, mais comme la chaleur de fermentation, l'absence d'oxygène et d'autres facteurs interviennent pour empêcher le développement des larves au centre des tas de fumier bien organisés, seule la couche extérieure devrait être traitée à l'engrais.

La méthode d'application est importante. Les larves peuvent échapper à l'action du produit chimique qui ne peut toucher certaines d'entre elles lorsqu'elles sont regroupées en grumeaux dans les excréments. Il est donc essentiel de bien mélanger le produit chimique de façon à le répartir uniformément.

Bien que le traitement ovicide et larvicide des excréments présente un certain potentiel, cette technique n'est pas très répandue sauf dans des conditions particulières, par exemple pour détruire les larves de ver dans les chenils et dans les programmes de traitements périodiques du sol au borate de sodium (Soulsby 1965).

9.0 PRÉSENCE DANS LE FUMIER D'AGENTS PATHOGÈNES POUR LES ANIMAUX: EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ PUBLIQUE

A.J. McLean[α]

Les agents pathogènes présents dans le fumier sont dangereux pour la santé des humains et des animaux à l'intérieur de l'unité de production, mais ils ne doivent pas inquiéter le public car des mesures de prévention sont facilement accessibles auprès des services vétérinaires et médicaux. Le public est protégé contre une exposition indirecte dans les produits alimentaires par des règlements stricts régissant la transformation et la vente des aliments. La libération possible des agents pathogènes des eaux de ruissellement s'écoulant des réservoirs à fumier, des parcages et des terrains traités au fumier, dans les eaux souterraines et superficielles utilisées à des fins récréatives et comme source d'eau potable, constitue un danger plus sérieux.

Voici un résumé des propos sur la survie des agents pathogènes dans le fumier, le sol et l'eau faits dans les trois chapitres précédents. Le spirochète Treponema hyodysenterae est l'organisme causal de la dysenterie du porc, et on le retrouve dans les réservoirs à fumier. L'espèce Salmonella survit dans le fumier pendant de nombreux mois. L'espèce Brucella peut survivre jusqu'à 2 mois dans le fumier humide, mais deux heures seulement à la lumière directe du soleil. Mycobacterium paratuberculosis, qui cause la maladie de Johne, survit pendant au moins un an dans le fumier et le sol, et M. avium, excrété par la volaille, persiste jusqu'à 4 ans dans le sol. Clostridium perfringens, cause des entérotoxémies, peut être facilement isolé des sols, tandis que Erysipelothrix rhusiopathiae, organisme causal des érysipèles, peut survivre longtemps dans des sols alcalins. Le sol est, croit-on, le réservoir normal de la plupart des champignons pathogènes. Le parasite Ascaris suum peut vivre dans un sol humide à 5-20°C pendant deux ans, et des strongyles équins ont survécu dans le sol pendant quatre ans après avoir été enfouis par labourage. Des nématodes de ruminant survivent tout l'hiver dans les pâturages des provinces maritimes. Certains parasites survivent dans un hôte intermédiaire, comme le ver de terre. Les leptospires, organismes bactériens, survivent longtemps dans l'eau mais difficilement en milieu sec. En général, les virus ne survivent pas longtemps à l'extérieur de leur hôte, mais on sait qu'ils se répandent à partir des excréments et que certains d'entre eux vivent longtemps dans l'eau, comme le virus de la poliomyélite.

α Anciennement chercheur pour le compte d'Agriculture Canada, Ottawa, Ontario.

Dans les sections qui suivent, on étudiera les risques de libération d'agents pathogènes à partir de sites d'élevage et de terrains amendés au fumier.

9.1 ÉLEVAGE

Jusqu'à ces dernières décennies, le fumier était très prisé pour sa teneur en éléments nutritifs, et il jouait un rôle important dans le maintien de la fertilité du sol. La construction de réservoirs pour empêcher le fumier de s'échapper par ruissellement et lixiviation était vue surtout comme une mesure d'économie, la protection de l'environnement qui s'ensuivait n'étant que fortuite. Au fur et à mesure de l'utilisation accrue d'engrais commerciaux et de l'augmentation des coûts de main-d'oeuvre relatifs à la manipulation du fumier, son élimination a commencé à poser des problèmes, accentués par la concentration d'un grand nombre d'animaux sur une surface limitée. Le Canada Animal Waste Management Guide (Canada Committee on Agricultural Engineering Services 1979) décrit les systèmes de traitement du fumier utilisés actuellement.

La modernisation des systèmes de traitement du fumier tend à favoriser la survie des agents pathogènes. Par exemple, au lieu d'utiliser de la litière pour l'absorber, on lave parfois le fumier à l'eau et on le stocke sous forme de boue. Les salmonelles survivent de 30 à 50% plus longtemps dans les effluents dilués qu'à l'état brut lorsqu'on ajoute très peu d'eau (Hojovec 1977). En Angleterre, des ouvriers ont déjà fait remarquer le danger possible que présente l'épandage de fumier infecté avec des agents pathogènes au cours de son entreposage à l'état liquide (Jack et Hepper 1969; Haig 1972). D'après les résultats d'études cités par Coote et Zwerman (1975), les leptospires survivaient pendant 61 jours dans un bassin d'oxydation, et les salmonelles, de 77 à 345 jours dans le fumier liquide, selon le sérotype et la température. Par le passé, le fumier était stocké à l'état brut sans être dilué avec de l'eau, et la chaleur produite tuait de nombreux agents pathogènes (Strauch 1977). On considère que l'eau est un vecteur de transmission important des organismes bactériens causant la salmonellose, la leptospirose, le charbon bactéridien, l'érysipèle et la colibacillose, ainsi que les virus de la poliomyélite et de l'hépatite (Diesch 1970). Comme de nombreux agents pathogènes peuvent survivre pendant un certain temps dans le fumier et dans l'eau, il est impératif d'accorder une attention particulière à l'emplacement des étables, des parcs, des entrepôts de fumier, des pâturages et des réserves d'eau destinées aux animaux, et de tenir compte aussi des conditions pédologiques et hydrologiques afin de réduire le plus possible la libération de ces agents pathogènes dans l'eau. Toutes les opérations relatives à l'élevage doivent viser à restreindre le mouvement des agents pathogènes vers les eaux superficielles ou souterrains par lixiviation ou ruissellement.

9.2 ÉPANDAGE DE FUMIER

L'épandage constitue l'utilisation la plus judicieuse du fumier. Compte tenu de son rôle dans le maintien de la productivité du sol, le fumier doit être considéré comme une ressource et non comme un déchet. Cette perspective suit le courant actuel visant à conserver les ressources et l'énergie. Néanmoins, le confinement d'un grand nombre d'animaux sur une surface limitée, un parc par exemple, produit souvent une quantité de fumier dépassant les quantités optimales requises pour les cultures et dépassant aussi la capacité du sol à retenir les éléments solubles qui sont entraînés par lixiviation dans les eaux souterraines. Les risques de l'épandage dépendent de la présence d'agents pathogènes, de la méthode et de la période de stockage, des caractéristiques du sol, de ses propriétés, ainsi que du taux et de la méthode d'application.

9.2.1 IRRIGATION AVEC DU FUMIER LIQUIDE

L'arrosage des cultures avec du fumier liquide est plus dangereux pour les animaux et les humains que l'incorporation du fumier dans le sol. En Angleterre, l'apparition d'une infection par Salmonella typhimurium a affecté le bétail qui avait brouté sur un pâturage ayant été irrigué avec une très grande quantité de boue trois semaines auparavant (Jack et Hepper 1969). L'organisme causal a été isolé de la boue et de quatre vaches. Lors de tests effectués dans le même pays, des veaux broutant sur un pâturage contaminé avec une boue contenant 10^6 S. dublin par mL étaient infectés au bout de quelques jours (Haig 1972). Avec une concentration de 1 x 10^3 organismes par mL, aucun des veaux n'a été infecté. Par la suite, on a testé les veaux qui broutaient sur un pâturage traité une semaine auparavant avec une boue contenant 1 x 10^5 organismes par mL. Aucun animal ne fut infecté malgré la présence, durant au moins un mois, d'organismes infectieux dans l'herbe à une hauteur inférieure à 25 mm. D'après les résultats, il fallait un grand nombre d'organismes pour faire apparaître l'infection. Dans une étude de la littérature, Strauch (1977) faisait état de rapports d'Allemagne et d'autres pays où, dans plusieurs cas, des animaux avaient été infectés par des salmonelles après avoir été en contact avec des pâturages irrigués avec du fumier liquide. Les salmonelles et d'autres agents pathogènes, y compris les virus, survivaient dans les boues pendant de nombreux mois. Il souligne le danger pour les animaux et les humains de l'irrigation des cultures avec des boues non traitées. Il est recommandé de traiter sur place le fumier liquide par des méthodes chimiques ou physiques. Pour réduire au minimum les risques d'infection, le ministère de l'agriculture britannique a recommandé d'attendre six mois avant de faire brouter des animaux sur des pâturages amendés avec du fumier liquide (Jack et Hepper 1969). Évidemment, il ne faut pas vaporiser les cultures destinées à la consommation humaine avec une boue non traitée. Contrairement à ce qu'indiquaient les rapports sur la contamination des pâturages par irrigation avec une boue,

l'épandage de fumier de parcage à un taux de 125 $t.ha^{-1}$ dans des vergers dans l'ouest du Canada n'a pas contaminé l'herbe avec des bactéries entéropathogènes (Bell et al. 1976).

9.2.2 FUMIER INCORPORÉ DANS LE SOL

Il est avantageux pour l'environnement d'incorporer le fumier dans le sol. Dans une étude récente de la survie des agents pathogènes dans les sols, Morrison et Martin (1977) ont trouvé des données qui variaient considérablement d'une source à l'autre. Pour illustrer ces différences, ils ont présenté les temps de survie de certaines bactéries pathogènes dans le sol, signalés par divers chercheurs. Par exemple, Waksman (Waksman et Woodruff 1940) jugeait que la population microbiologique d'un sol normal avait un effet destructeur sur les agents pathogènes. D'après d'autres rapports (Elliot et Ellis 1977), l'épandage sur le sol faisait décroître la survie et la virulence des agents pathogènes. Quels que soient les effets néfastes du sol sur la survie des agents pathogènes, selon les nombreuses publications sur ce sujet, un grand nombre d'entre eux (bactéries, virus, champignons et parasites) persistent assez longtemps pour devenir une source d'infection pour les humains et les animaux. Dans leur étude, Morrison et Martin (1977) mentionnaient la persistance de Bacillus anthracis, des clostridies et des salmonelles. Selon certaines données, les virus peuvent être absorbés par les éléments du sol et restent infectieux, bien que rendus inaccessibles au contact d'un hôte (Elliot et Ellis 1977). La persistance des parasites dans les sols a été étudiée par Smith au Chapitre 8. La survie de nombreux pathogènes dans le sol semble être favorisée par la température peu élevée, l'humidité et un pH à peu près neutre.

À moins d'incorporer le fumier dans le sol, il ne faut pas l'épandre sur des terres dont la pente est orientée vers des lacs ou des cours d'eau. En outre, il ne faut pas épandre de grandes quantités de fumier sur des sols sableux très perméables ou sur des sols qui ont été drainés, car les agents pathogènes peuvent se déplacer vers les couches inférieures et contaminer les eaux souterraines. D'après une étude (Coote et Zwerman 1975) de divers rapports, il semble que les bactéries et les virus puissent être adsorbés par les argiles à grande surface, par exemple, la montmorillonite; cependant, il semble aussi qu'ils puissent se déplacer sur une distance allant jusqu'à 15,2 m dans les sols sableux. Au cours d'une expérience portant sur un sol en milieu saturé, on a constaté que les souches d'Escherichia coli et de Streptococcus faecalis résistantes à la streptomycine, qu'on avait ajoutées, se déplaçaient dans le profil du sol dans la direction du courant d'eaux souterraines (Hansen et Hagedorn 1977). Ces deux indicateurs bactériens ont survécu en nombres appréciables tout au long des deux périodes d'échantillonnage de 32 jours. Dans une autre expérience, les concentrations d'Escherichia coli et d'entérocoques dans l'eau provenant du drainage souterrain d'un pâturage situé sur un loam

d'argile sableux, étaient conditionnées par le débit et par l'application de volumes importants de fumier semi-liquide de cochon (Evans et Owens 1972). Les concentrations de bactéries fécales augmentaient de 30 à 900 fois au point de rejet du drain dans les deux heures qui suivaient le début de l'arrosage du pâturage. Ces résultats traduisent la sensibilité des eaux souterraines à la contamination par les agents pathogènes provenant des terres amendées.

9.3 EFFET DE L'ÉLEVAGE ET DE L'ÉLIMINATION DU FUMIER SUR L'ENVIRONNEMENT

L'information associant la présence d'agents pathogènes dans les cours d'eau et les lacs à une source agricole est surtout limitée à des exemples d'infection humaine et animale. On peut souvent retracer une infection humaine à une eau contaminée, utilisée à des fins récréatives ou pour boire. Par exemple, Diesch (1970) fait allusion à des cas de leptospirose aux États-Unis chez des gens qui s'étaient baignés dans de l'eau contaminée par du bétail infecté, et des cas de salmonellose causée par de l'eau potable soupçonnée d'avoir été contaminée par le parcage du bétail. Après l'apparition de leptospirose dans une ferme d'élevage du bétail, on a identifié Leptospira pomana dans l'urine excrétée par le bétail et dans les eaux superficielles de plans d'eau et de cours d'eau vive auxquels le bétail avait accès (Gillespie et al. 1957). Dans l'ouest de l'Angleterre où la salmonellose est enzootique chez le bétail adulte, on a échantillonné deux rivières de la région pour délimiter la contamination causée par Salmonella dublin (Hooper 1970). L'organisme a été retrouvé à au moins un des sites de l'un des cours d'eau 14 fois sur 20 et au moins à un endroit sur l'autre rivière, 9 fois sur 17. On a observé que de nombreuses fermes de la région s'approvisionnaient en eau sur ces cours d'eau pour abreuver le bétail et que l'eau de la rivière était probablement une source d'infection. Les sites d'élevage peuvent donc être une source d'agents pathogènes pour l'eau et, inversement, l'eau contaminée peut être une source d'infection pour les animaux et l'humain.

Quant à la propagation des agents pathogènes par les animaux, mentionnons que certains d'entre eux se trouvent en suspension dans l'air, par exemple le parasite intracellulaire de la fièvre Q dans les déchets d'animaux fixés à la poussière, le virus de la maladie de Newcastle dans le duvet de poulet et la poussière, et les spores fongiques ou les maladies systèmiques mycosiques (Diesch 1970). La propagation aérienne de la maladie de Newcastle a été étudiée en détail par Lancaster et Alexander (1975). Lors de la vaporisation de fumier liquide, on s'est inquiété du risque d'inhalation par les ouvriers d'aérosols renfermant des virus et des bactéries (Elliot et Ellis 1977). Cependant, on a jugé que ce risque était minimal lorsque le traitement était effectué par temps peu venteux, chaud et ensoleillé où l'humidité relative était comprise entre 40 et 60%.

Notons que la présence d'un agent pathogène donné dans le sol ou l'eau n'entraîne pas nécessairement la transmission de la maladie aux animaux ou aux humains avec qui il pourrait entrer en contact. La viabilité des organismes, leur nombre, la sensibilité de l'hôte et de nombreux autres facteurs peuvent aussi conditionner l'infection.

10.0 PRÉSENCE DANS LE FUMIER D'AGENTS PHYTOPATHOGÈNES ET DE GRAINES DE MAUVAISES HERBES

M.D. Sutton[α]

L'amendement des champs permet d'éliminer économiquement le fumier. Depuis des siècles, les agriculteurs connaissent les avantages qui découlent de cette opération, notamment un rendement agricole accru et une productivité améliorée du sol. Cependant, les effets bénéfiques du fumier sur les terres peuvent être contrecarrés par 1) des effets phytotoxiques sur la germination des graines et le développement des jeunes plants (Webber 1972; Frank 1973; Chaney 1974; Azevedo et Stout 1974; Costa et al. 1974; Petersen et al. 1974), 2) la dissémination des organismes pathogènes des plantes qui infectent le sol et les cultures (Baker et Snyder 1965; Baker 1968; Walker 1969; Haghiri et al. 1978; Pyenson 1977; Edgington et Lynch 1981) et 3) la dispersion des graines de mauvaises herbes (McLean et Ivimey-cook 1956; Salisbury 1964; Warwick 1982, communication personnelle).

10.1 PHYTOTOXICITÉ

Nous avons déjà fait allusion (aux Sections 2.3.2, 4.0 et 5.0) à un certain nombre d'effets phytotoxiques et néfastes du fumier. On signale que l'ammoniac se dégageant du fumier de volaille appliqué à des taux variant de moyen à élevé empoisonnait les graines en germination et les jeunes plants (Azevedo et Stout 1974). L'accumulation de phosphore dans le sol après l'épandage répété de fumier peut amener un carence en zinc chez certaines plantes cultivées. La diminution de la germination et du rendement de champs de maïs destinés au fourrage et d'autres cultures a été attribuée à l'accumulation de sels dans les sols traités avec de grandes quantités de fumier provenant du parcage de bovins (Petersen et al. 1971; Wallingford et al. 1975b). Les rations destinées aux bovins contiennent fréquemment au moins 1% de NaCl, dont la plus grande partie passe dans l'urine (Petersen et al. 1971). Costa et al. (1974) ont fait état d'un certain nombre de cas d'empoisonnement au piclorame chez des plantes cultivées sur un sol amendé avec du fumier qui provenait d'animaux se nourrissant de plantes traitées avec cet herbicide. Frank (1973) signalait aussi des cas d'empoisonnement causés par des résidus de piclorame dans du tabac cultivé sur des terres traitées au fumier. On a retracé l'origine du piclorame à la paille coupée dans des champs traités, qui avait été utilisée comme litière pour les animaux de ferme, puis incorporée dans le fumier. Les effets toxiques sur les plantes et les animaux des métaux lourds et des micro-éléments nutritifs accumulés dans le sol à la

---

α Secrétariat de l'Environnement, Division des sciences biologiques, CNRC, Ottawa, Canada.

suite d'applications répétées de fumier et de boues résiduaires ont été déjà étudiés à la Section 4.0.

10.2 AGENTS PHYTOPATHOGÈNES

L'élimination inappropriée de déchets de plantes infectées ou l'utilisation de plantes infectées comme fourrage ou litière sont les principales sources d'agents pathogènes dans le fumier. Seuls quelques agents phytopathogènes peuvent s'introduire directement dans le fumier et conservent leur viabilité après être passés dans l'appareil digestif des animaux (Tableau 10-1).

La plupart des agents pathogènes végétaux qui se trouvent dans le fumier, notamment les champignons, les bactéries et les virus, proviennent de débris végétaux infectés qui ont été ajoutés aux excréments des animaux de ferme. Lors du nettoyage des étables et des abris, le fumier est contaminé avec les débris végétaux infectés, par exemple la litière (paille de céréales, fanes de haricots et de pois) et les déchets de fourrage (maïs, pommes, pommes de terre, tubercules, etc.). L'homme peut aussi, sans le savoir, être l'agent qui déclenche la contamination et qui sert de vecteur lorsqu'il rejette les déchets infectés de jardins et de cultures sur les tas de fumier. Dans certaines conditions environnementales, le fumier contaminé épandu sur les terres devient une source d'infection qui peut amener l'apparition de maladies chez les végétaux.

Comme on l'a déjà signalé dans le présent document, les organismes pathogènes se trouvant dans la couche superficielle de 10 à 13 cm d'épaisseur des tas de fumier (ou ceux dans le fumier liquide) ne sont pas exposés aux effets létaux et désinfectants d'une température relativement élevée égale ou supérieure à 41,6°C produite par le chauffage du fumier (Cameron 1940; Canada Committee on Agricultural Engineering Services 1971). Les agents pathogènes virulents exposés aux températures plus faibles et non létales en périphérie des tas de fumier (ou de fumier liquide) restent des sources viables d'infection. Lorsque le fumier infectieux est épandu sur le sol, il peut amener l'apparition de maladies chez les plantes et/ou infecter le sol.

Au Tableau 10-2, se trouve une liste d'un certain nombre d'agents pathogènes qui survivraient à l'hiver dans les déchets végétaux infectés. Une fois que le fumier est contaminé par des déchets infectés, il constitue une source potentielle d'agents pathogènes et augmente le risque d'apparition de maladies chez les plantes. Pour qu'une maladie apparaisse, il faudrait, en plus d'une source d'infection, un grand nombre d'hôtes appropriés et des conditions environnementales favorisant le développement et la dispersion des agents pathogènes. C'est pourquoi la culture d'une espèce végétale unique favorise beaucoup la dispersion des agents phytopathogènes.

Tableau 10-1. Agents pathogènes viables dans le fumier après passage dans l'appareil digestif des animaux de ferme.

Nom de l'agent pathogène	Nom courant de la maladie des plantes	Passage chez un animal	Origine de l'infection	Référence
Sclerotium cepivorum	Gale blanche de l'oignon, de l'échalotte et de l'ail	Oui (mouton, chèvres et vraisemblablement les bovins)	Sclérotes dans les déchets de culture infectés, par exemple les bulbes. Subsistent fort longtemps dans le sol sous forme de sclérotes	Mikhael et al. 1974 Walker 1969 Harrison 1954
Sclerotium rolfsii[a]	Sclérotie méridionale des betteraves à sucre	Oui (bovin et mouton)	Sclérotie des betteraves à sucre infectée et de leurs fanes qui servent de fourrage	Leach et Mead 1936
Sphacelotheca reiliana	Charbon du maïs	Oui -	Grains de maïs fortement infectés avec les spores de charbon et utilisés comme fourrage pour les animaux	Edgington et Lynch 1981
Streptomyces scabies	Gale de la pomme de terre	Oui -	Tubercules infectés servant de nourriture aux animaux de ferme. L'agent pathogène peut persister indéfiniment dans le sol	Walker 1969

[a] Aucun cas de cette maladie n'a été signalé au Canada.

Tableau 10-2. Maladies des plantes qui peuvent avoir été causée par des déchets de cultures infectées introduits dans le fumier[a].

Nom de l'agent pathogène	Nom courant de la maladie	Infection
Alternaria solani	Gale de la pomme de terre et de la tomate	Hiberne dans les débris végétaux infectés, sur les graines de tomate et les tubercules de pommes de terre. L'infection peut s'introduire directement par les débris infectés dans le sol
Ascochyta pinodella Ascochyta pisi	Maladie causée par Ascochyta sur les pois	Hiberne dans les graines et des débris végétaux infectés. L'infection se fait surtout par les pycnospores dans les débris infectés, par exemple les déchets provenant de fanes de pois et de vignes de pois ensilées
Colletotrichum lindemuthianum	Anthracrose du haricot	Hiberne sur les graines et dans les débris végétaux infectés. L'infection se fait par les conidies transportées par le vent ou par l'eau
Diplodia macrospora Diplodia maydis	Maladie causée par Diplodia sur le maïs (gales des plants, rouille des racines, des tiges et de l'épi)	Hiberne surtout sur les graines, dans les tiges malades et le sol infesté. Les pycnosphores aériennes infectent les plantes. L'infection des plants se fait principalement à partir des graines
Gibberella moniliforme	Maladie causée par Gibberella sur le maïs (gale des plants; rouille de la racine, des tiges et de l'épi)	Hiberne dans les graines et sur les débris infectés, par exemple les tiges de maïs. L'infection se fait principalement par les ascospores libérées par les périthèces dans l'air. La deuxième source est constituée par les macroconidies et les microconidies
Gibberella roseum	Maladies causées par Gibberella sur le maïs et les petites céréales, gale de l'épi, gale du plante et rouille du pied de l'orge, du blé, du seigle et de certaines variétés d'avoine	
Mycosphaerella pinodes	Maladie causée par Mycosphaerella sur les pois	Hiberne sur les graines et les débris végétaux infectés, par exemple les déchets de fanes de pois et de vignes de pois ensilées. Les pycnospores et les périthèces infectent les débris
Phytophthora infestans	Gale retardée des pommes de terre et des tomates	Hiberne sous forme de mycélium chez les tubercules de pommes de terre infectées dans le sol ou les tubercules entreposés rejetés au printemps. L'infection se fait par production de conidiophores et de zoospores
Scerotinia sclerotiorum	Maladie causée par Scerotinia sur les légumes ou les cultures (pommes de terre, tomates, navets, concombres, choux, rutabaga, trèfles, tournesol, haricots, pois)	Hiberne sous forme de Sclerotia dans le sol où dans les plantes infectées. Se répand sur l'homme, les accessoires servant aux animaux, les graines et dans l'eau d'irrigation. L'infection se fait surtout par les apothèces à la surface du sol
Septoria apiicola	Gale retardée du céleri	Hiberne sur les graines et les déchets de culture infectés. L'infection se fait par les pycnospores et les conidies disséminées par le vent et la pluie
Synchytrium endobioticum	Excroissance noirâtre de la pomme de terre	Le fumier contaminé et le sol infesté propagent ce phycomycète
Ustilago maydis	Charbon du maïs	Champignons qui s'adaptent sous forme de saprophyte. Les téliospores persistent sur les déchets de culture et dans le sol. Les spores sont produites sur les déchets et le fumier. Les sporidies à l'origine de l'infection se trouvent surtout dans l'air et dans l'eau
Virus de la mosaïque du tabac	Mosaïque du tabac (VMT)	Les débris végétaux infectés dans le sol et les déchets d'entrepôts et de certains produits traités constituent les principales sources d'infection
Xanthomonas campestris	Rouille noire des crucifères	Hiberne sur les graines et sur les déchets de plantes infectées avec la bactérie phytopathogène
Erwinia carotorora[β]	Rouille des légumes (la plupart des tubercules, laitues, choux, céleris, tomates, etc.)	Se répand facilement par le fumier contaminé avec les déchets de plantes infectées par la bactérie de la rouille douce

[a] Données tirées de Walker 1969 (sauf pour ce qui est de β).

[β] Pyenson 1977.

10.3 GRAINES DE MAUVAISES HERBES

Les animaux de ferme ingèrent une grande quantité de graines de mauvaises herbes avec leur fourrage, que ce soit à l'étable ou dans les champs. Certaines graines de mauvaises herbes, de diverses espèces, conservent leur viabilité après avoir traversé l'appareil digestif des animaux et sont rejetées avec les excréments (Tableau 10-3). La germination de certaines graines, par exemple celles dont le tégument est rigide, s'améliore souvent après leur passage dans un animal. Les excréments ne représentent que l'un des vecteurs de dispersion des graines par les animaux dans la nature (zoochore). Ce sont les oiseaux qui distribuent le plus de graines de cette façon en raison de leur mode particulier de déplacement et de leur vitesse. Les mammifères viennent au deuxième rang (McLean et Ivimey-cook 1956).

Le nombre de graines de mauvaises herbes s'accroît lorsqu'on incorpore dans le fumier de la litière constituée de foin, de paille, de restes de fourrage, etc. Pendant leur stockage dans le fumier, les graines de mauvaises herbes sont exposées à des températures élevées qui les empêchent de germer. Une certaine proportion des graines exposées aux températures plus faibles sur la périphérie des tas de fumier conservent leur viabilité.

Il arrive qu'on doive transporter le fumier excédentaire vers d'autres sites, par camion ou par train. Les fermes d'élevage des bovins et des poulets produisent en général un excès de fumier. Le transport du fumier loin de son site d'origine présente des dangers évidents, car il favorise l'introduction et la dispersion d'espèces de mauvaises herbes vers de nouveaux sites.

On s'inquiète actuellement au Canada de l'introduction et de la dispersion des espèces de mauvaises herbes résistantes à la triazine, comme le chénopode blanc (Chenopodium album) et l'amaranthe (Amaronthus), ou de nouvelles espèces comme Abutilon theophrasti Medic.

Par exemple, on a signalé l'apparition d'Abutilon theophrasti en Ontario vers la fin des années 1950. En 1970, cette mauvaise herbe constituait un problème sérieux dans tout le sud-ouest de l'Ontario. Elle s'est maintenant répandue dans 28 comtés d'Ontario et dans de nombreux comtés du Québec. L'infestation d'un certain nombre de ces régions a été attribuée au rejet de graines de mauvaises herbes dans du fumier et du fourrage contaminés. On a observé des plants d'Abutilon theophrasti sur des tas de fumier de bovin ou de poulet. En 1982, on a signalé une infestation sérieuse d'Abutilon theophrasti en Nouvelle-Écosse. On croit qu'elle a été introduite par un chargement de maïs d'une région déjà infestée et qu'elle s'est dispersée par le fumier (Warwick 1982, communication personnelle).

D'après Holm et al. (1977), la propagation accrue de Solanum nigrum (morelle noire) et de A. theophrasti dans les champs de fèves de

Tableau 10-3. Espèces de graines de mauvaises herbes récupérées dans les excréments d'animaux de ferme au Canada[a].

Nom botanique de la mauvaise herbe	Source animale des excréments	Nom vernaculaire de la mauvaise herbe au Canada
Achillea millefolium L.	cheval	achillée
Agrostemma githago L.	bovin	nielle des blés
Anthemis arvensis L.	bovin	anthène des champs
Atriplex patula L.	bovin	arroche
Avena sativa L.	cheval	avoines
Barbarea vulgaris R. Br.	bovin, cheval, cochon	barbarée vulgaire
Capsella bursa-pastoris (L.) Medic	bovin, chèvre	capselle bourse-à-pasteur
Chenopodium album L.	bovin, cheval, cochon	chénopode blanc
Chrysanthemum leucanthemum L.	cheval	marguerite
Daucus carota L.	cheval	carotte sauvage
Erysimum cheiranthoides L.	bovin, cheval	herbe au chantre
Fumaria officinalis L.	bovin	fumeterre officinal
Galeopsis tetrahit L.	bovin	galéopsis à tige carrée
Galium aparine L.	bovin	gaillet gratteron
Geranium pusillum L.	bovin	géranium à petites fleurs
Juncus bufonius L.	bovin, cheval	jonc des crapauds
Lithospermum arvense L.	mouton	grémil des champs
Matricaria matricarioides (Less.) Porter	cheval	matricaire odorante
Pimpinella saxifraga L.	bovin	saxifrage
Plantago lanceolata L.	bovin	plantain lancéolé
Plantago major L.	bovin, cheval, chèvre	grand plantain
Poa annua L.	bovin, cheval	pâturin annuel
Polygonum aviculare L.	bovin, cheval	renouée des oiseaux
Polygonum lapathifolium L.	bovin	renouée à feuilles d'oseille
Polygonum persicaria L.	bovin	renouée persicaire
Ranunculus repens L.	bovin, cheval	renoncule rampante
Raphanus raphanistrum L.	bovin	radis sauvage
Rumex acetosa L.	bovin	rumex oseille
Rumex acetosella L.	bovin, cheval, chèvre, cochon	rumex petite oseille
Rumex obtusifolius L.	bovin	rumex à feuilles obtuses
Sagina procumbers L.	cheval	sagine couchée
Sinapis arvensis L.	bovin	moutards des champs
Spergula arvensis L.	bovin, cheval, cochon	spartoute des champs
Stellaria media (L.) Vill.	bovin, cheval, cochon	stellaire moyenne
Taraxacum officinale Weber	bovin, cheval	pissenlit
Thlaspi arvense L.	bovin, cheval	thlaspi des champs
Urtica dioica L.	bovin	ortie
Urtica urens L.	bovin	ortie
Veronica agrestis L.	bovin, cheval	véronique agreste
Veronica arvensis L.	bovin	véronique des champs
Vicia sativa L.	cheval	vesce cultivée
Viola arvensis Murr.	bovin	violette des champs

[a] Données tirées de Alex et al. 1980 et Salisbury 1961.

Lima pourrait aussi s'expliquer de la façon suivante: "Dans la région des Grands Lacs, située au nord-est des États-Unis, l'utilisation des herbicides a amené des changements écologiques importants pour les espèces de mauvaises herbes S. nigrum et Abutilon theophrasti. Avant 1962, les fèves de Lima étaient désherbées à l'aide d'herbicides à base de dinitrophénol, par labourage et à la faux. Les deux espèces de mauvaises herbes se retrouvaient rarement dans les champs de haricots. La trifluraline, le CDAA (le 2-chloro-N,N-diallylacétamide) et le chlorambène (acide benzoïque) sont apparus sur le marché en 1962; avec leur utilisation, les agriculteurs n'avaient plus à arracher mécaniquement les mauvaises herbes, Solanum nigrum et Abutilon theophrasti apparurent entre 1965 et 1966 et sont maintenant les principales mauvaises herbes infestant les champs de fèves de Lima".

ABRÉVIATIONS ET UNITÉS ÉQUIVALENTES

kPa	= kilopascal	= 0,01 bar = 0.0145 lb.pouce^{-2}
mL	= millilitre	= 0,032 once liquide (imp.)
L	= litre	= 0,22 gallon (imp.)
g	= gramme	= 0,0353 once
kg	= kilogramme	= 2,205 unités
t	= tonne	= 1000 kg = 0.984 tonne (imp.)
cm	= centimètre	= 0,394 pouce
m	= mètre	= 1,09 verges
km	= kilomètre	= 0.62 mille
ha	= hectare	= 2,471 acres
d	= jour	= 24 heures
a	= année	= 365 jours
lx	= lux	= 0.092 903 bougie
kg.t^{-1}	= 2,24 lb.tonne (imp.)$^{-1}$	
km.h^{-1}	= 0,6214 mille par heure	
t.ha^{-1}	= 0,398 tonne (imp.).acre^{-1}	
kg.ha^{-1}	= 0,892 lb.acre^{-1}	
1 mg.kg^{-1}	= 1 ppm	
1 mg.L^{-1} (H_2O)	= 1 ppm	
1 µL.L^{-1}	= 1 ppm, en volume	
1 million	= 10^6	

BIBLIOGRAPHIE

Ainsworth, G.C. and Austwick, P.K.C. 1973. Fungal diseases of animals (2nd ed.). Commonwealth Bureau of Animal Health Review Series #6, Slough, England. 216 pp.

Ajello, L. 1956. Soil as a natural reservoir for human pathogenic fungi. Science 123: 876-879.

Alex, J.F., Cayouette, R. and Mulligan, G.A. 1980. Common and botanical names of weeds in Canada. Research Branch, Agriculture Canada, Publication 1397. 132 pp.

Allan, G.W. 1962. Acute atypical bovine pneumonia caused by Ascaris lumbricoides. Can. J. Comp. Med. 26: 241-243.

American Society of Agricultural Engineers. 1981. Agricultural Engineers Yearbook 1981-1982. St. Joseph, Michigan 49085. p. 442.

Anderson, G., Williams, E.G. and Moir, J.O. 1974. A comparison of the sorption of inorganic orthophosphate and inositol hexaphosphate by six acid soils. J. Soil Sci. 25: 51-62.

Atkinson, H.J., Giles, G.R. and Desjardins, J.G. 1954. Trace element content of farmyard manure. Can. J. Agric. Sci. 34: 76-80.

Atkinson, H.J., Giles, G.R. and Desjardins, J.G. 1958. Effect of farmyard manure on the trace element content of soils and of plants grown thereon. Plant Soil 1: 32-36.

Avrahami, M., Clear, M.H. and Ritchie, A.R. 1974. Residues in milk, blood, urine, and feces of cows after treatment with ^{32}P-labelled fenchlorphos "pour-on". N.Z.J. Exp. Agric. (Wellington) 2: 115-119.

Azevedo, J. and Stout, P.R. 1974. Farm animal manures: A review of their role in the agricultural environment. California Agricultural Exp. St. Extension Service, Manual 44.

Baker. K.F. and Snyder, W.C. (eds). 1965. Ecology of soil-borne plant pathogens. Univ. of Calif. Press, Berkley. 571 pp.

Baker, R. 1968. Mechanisms of biological control of soil-borne plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 6: 263-294.

Bakke, E., Larson, D. and Price, E. 1972. Metabolism of atrazine and 2-hydroxyatrazine by the rat. J. Agric. Food Chem. 20: 602-607.

Barber, E.M. and McQuitty, J.B. 1974. Hydrogen sulfide evolution from anaerobic swine manure. Publ. Faculty of Agriculture and Forestry, University of Alberta. Edmonton, Alberta. 69 pp.

Barnett, G.M. 1975. The soil-plant nutrient recycling complex and rates of animal waste application. Agriculture Canada, La Pocatiere, Quebec.

Bates, T.E., Lane, T.H., Moyer, J.R. and Haq, A. 1974. Metals in sewage sludges and manures. Presented at Meeting of Feed Manufacturers, University of Guelph, Guelph, Ontario.

Bates, T.E., Haq, A., Ketcheson, J.W. and Soon, Y.K. 1978. Land disposal of sewage sludge, Vol. VI. COA Research Report No. 90, Ottawa, Ontario.

Batey, T., Berryman, C. and Line, C. 1972. The disposal of copper-enriched pig-manure slurry on grassland. J. Br. Grassl. Soc. 27: 139-143.

Beak Consultants Limited. 1977. Effects of livestock activity on surface water quality. International Joint Commission, Regional Office, Windsor, Ontario.

Beauchamp, E.G. 1979. Time and method of liquid cattle manure application for corn. Progress Report, Dept. of Land Resource Science, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario.

Bell, R.G. 1975. A mycological investigation of beef feedlot manure in a semi-arid temperature climate. In Managing livestock wastes. Proc. 3rd Int. Symp. on Livestock Wastes. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan. pp. 322-324.

Bell, R.G. 1976a. The development in beef cattle manure of Petriellidium boydii (Shear) Malloch, a potential pathogen for man and cattle. Can. J. Microbiol. 22: 552-556.

Bell, R.G. 1976b. An assessment of conditions favouring Histoplasma capsulatum development in the Grand Trunk Corridor. Can. J. Public Health 67: 249-251.

Bell, R.G., Wilson, D.B. and Dew, E.J. 1976. Feedlot manure top dressing for irrigated pasture: Good agricultural practice or health hazard? Bull. Environ. Contam. Toxicol. 16(5): 536-540.

Berrow, M.L. and Webber, J. 1972. Trace elements in sewage sludges. J. Sci. Food Agric. 23: 93-100.

Berryman, C. 1970. The problem of disposal of farm wastes with particular reference to maintaining soil fertility. Proc. Symp. Farm Wastes Inst. Water Pollution Control, Univ. Newcastle-upon-Tyne. pp. 19-23.

Bhatnagar, V.K. 1979. Mechanisms responsible for differences in P enrichment of eroded sediment with additions of manure or fertilizer P. Ph.D. Thesis, Dept. of Land Resource Science, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario.

Biberstein, E.L. and Cameron, H.S. 1961. The family Brucellaceae in veterinary research. Annu. Rev. Microbiol. 15: 93-118.

Blaxter, K.L. 1962. The energy metabolism of ruminants. Hutchinson and Co. (Publ.) Ltd., London.

Blood, D.C., Henderson, J.A. and Radostits, O.M. 1979. Veterinary Medicine. Bailliere, Tindall, London.

Breeden, G.C., Turner, E.C., Jr. and Beane, W.L. 1975. Methoprene as a feed additive for control of the housefly breeding in chicken manure. J. Econ. Entomol. 68: 451-452.

Bromel, M., Lee, Y.N. and Baldwin, B. 1971. Antibiotic resistance and resistance transfer between bacterial isolates in a waste lagoon. Livestock Waste Management and Pollution Abatement, Proc. Int. Symp. on Livestock Wastes. Am. Soc. Agric. Eng. Publ. Proc. 271: 122-125.

Bruce, W.G. 1939. The use of phenothiazine in the medication of cattle for the control of horn flies. J. Econ. Entomol. 32: 704-706.

Buchanan, R.E. and Gibbons, N.E. (eds). 1974. Bergey's manual of determinative bacteriology (8th Ed.). Williams and Wilkins, Baltimore. 1268 pp.

Bulley, N.R. 1977. Agricultural odor measurement: Does the nose know? Presented at the Annual Meeting of Canadian Society of Agricultural Engineering, Guelph, Ontario.

Bunting, A.N. 1963. Experiments on organic manures, 1942-44. J. Agric. Sci. 60: 121-40.

Burrows, W. 1973. Textbook of microbiology (12th Ed.). Saunders, Philadelphia. 1035 pp.

Busch, L.A. 1970. Leptospirosis 1965-1968. J. Infect. Dis. 121: 458-460.

Butler, G.W. and Peterson, P.J. 1961. Aspects of the fecal excretion of selenium by sheep. N.Z. J. Agric. Res. 4: 434-491.

Butler, J.F. and Greer, N.I. 1973. Toxicity of SD 8447 and dichlorvos to larvae of the horn fly, Haematobia irritans, (Diptera: Muscidae) in manure of insecticide-fed cattle. Fl. Entomol. 56: 103-105.

Cameron, T.W.M. 1940. The principles of parasitic control. National Business Publications, Gardenvale, Quebec. 48 pp.

Campbell, D.J. 1960. Parasitic gastro-enteritis of sheep. Can. Vet. J. 1: 151-156.

Canada Committee on Agricultural Engineering Services. 1979. Canada animal waste management guide. Agriculture Canada, Ottawa, Ontario. Publ. 1534.

CAST (Council for Applied Science and Technology). 1976. Application of sewage sludge to cropland: Appraisal of potential hazards of the heavy metals to plants and animals. Environmental Protection Agency. EPA 430/9-76-013.

Chaney, R.L. 1973. Crop and food chain effects of toxic elements in sludges and effluents. In Recycling municipal sludges and effluents on land. Nat. Assoc. St. Univ. and Land-Grant Coll., Washington, D.C. pp. 129-141.

Chaney, R.L. 1974. Recommendations for management of potentially toxic elements in agricultural and municipal wastes. In Factors involved in land application of agricultural and municipal wastes. National Program Staff, Soil Water and Air Sciences, Beltsville, Maryland. pp. 97-120.

Coman, B.J. 1975. The survival of Taenia pisiformis eggs under laboratory conditions and in the field environment. Aust. Vet. J. 51: 560-565.

Cooke, G.W. 1967. The availability of plant nutrients in soils and their uptake by crops. Ann. Rep. of the East Malling Res. Stn. in 1966. Rothamsted Exp. Stn. Rep. Harpenden, Herts. England. pp. 48-49.

Coote, D.R. and Hore, F.R. 1978. Pollution potential of cattle feedlots and manure storages in the Canadian Great Lakes Basin. International Joint Commission, Regional Office, Windsor, Ontario.

Coote, D.R. and Zwerman, P.J. 1975. Manure disposal, pollution control, and the New York dairy farmer. Cornell University, Ithaca, New York. N.Y. Food Life Sci. Bull. 51(3): 1-19.

Cordukes, W.E., MacLean, A.J. and Bishop, R.F. 1955. The comparative effects of manure and commercial fertilizer in a long-term soil fertility experiment. Can. J. Agric. Sci. 35: 229-237.

Costa, A.S., Nagai, H., Costa, C.L. and Cupertino, F.P. 1974. Ocorrencia de herbicida em nivel fitotoxico no esterco bovine. Arq. Inst. Biol. Sae Paulo 41: 208-218.

Craun, G.F. 1976. Microbiology--waterborne outbreaks. J. Water Pollut. Control Fed. 48: 1378-1396.

Cross, D.L. and Jenny, B.F. 1976. Turkey litter silage in rations of dairy heifers. J. Dairy Sci. 59: 919-923.

Crowder, L.A. and Dindal, E.F. 1974. Fate of ^{36}Cl-toxaphene in rats. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 12: 320-327.

Cumakov, A. 1969. Content of trace elements in manure and composts in Czechoslovakia. Agrochémia 9: 171-172 (Czech.).

Diesch, S.L. 1970. Disease transmission of water-borne organisms of animal origin. In Agricultural practices and water quality. Edited by T.L. Willrich and G.E. Smith. The Iowa State University Press., Ames, Iowa. pp. 265-285.

Diesch, S.L., Pomeroy, B.S. and Allred, E.R. 1971. Survival and detection of Leptospires in aerated beef cattle manure. In Proc. 2nd Int. Symp. Livestock Wastes. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan. pp. 263-266.

Dinius, D.A. 1971. Fecal residues from hormones and antibiotics - beef cattle. In Animal waste reuse - nutritive value and potential problems from feed additives. ARS 44-224. 56 pp.

Dorough, H.W. and Ivie, G.W. 1974. Fate of Mirex-^{14}C during and after a 28-day feeding period to a lactating cow. J. Environ. Qual. 3: 65-67.

Drummond, R.A. 1963. Toxicity to houseflies and horn flies of manure from insecticide-fed cattle. J. Econ. Entomol. 56: 344-347.

Edginton, L.V. and Lynch, K. 1981. Headsmut of corn-decisions to make. Can. J. Plant Pathol. 3: 273-276.

Egerton, J.R. and Roberts, D.S. 1971. Vaccination against bovine foot-rot. J. Comp. Pathol. 81: 179-185.

Elliott, L.F. and Ellis, J.R. 1977. Bacterial and viral pathogens associated with land application of organic wastes. J. Environ. Qual. 6: 245-251.

El-Sabban, F.F., Long, T.A., Gentry, R.F. and Frear, D.E.H. 1969. The influence of various factors on poultry litter composition. In Proc. Conf. Animal Waste Management. Cornell University, Ithaca, N.Y. pp. 340-346.

Emmons, C.W. 1955. Saprophytic sources of Cryptococcus neoformans associated with the pigeon (Columba livia). Am. J. Hyg. 62: 227-232.

Emmons, C.W., Binford, C.H. and Utz, J.P. 1970. Medical mycology (2nd ed.). Lea and Feziger, Philadelphia, PA. 508 pp.

Enigk, K., Thaer, R., Dey-Hazra, A. and Ahlers, R. 1975. Survival of resistant external stages of parasites during fermentation of liquid cattle manure at raised temperatures. Zentralbl. Veterinaermed. 22B: 607-702. (Abs: Vet. Bull. 46: 1976).

Evans, M.R. and Owens, J.D. 1972. Factors affecting the concentration of fecal bacteria in land-drainage water. J. Gen. Microbiol. 71: 477-485.

Fenner, F., McAuslan, B.R., Mims, C.A., Sambrook, J. and White, D.O. 1974. The biology of animal viruses. Academic Press, New York.

Fincher, G.T. 1975. Effects of dung beetle activity on the number of nematode parasites acquired by grazing cattle. J. Parasitol. 61: 759-762.

Frank, R. 1973. Annual Report on herbicides. OMAF. Guelph, Ontario.

Frank, R., Rainforth, J.R. and Sangster, D. 1974. Mushroom production in respect of mercury content. Can. J. Plant Sci. 54: 529-534.

Frank, R., Smith, E.H., Braun, H.E., Holdrinet, M. and McWade, J.W. 1975. Organochlorine insecticides and industrial pollutants in milk supply of the southern region of Ontario, Canada. J. Milk Food Technol. 38: 65-72.

Frank, R., Ishida, K. and Suda, P. 1976. Metals in agricultural soils of Ontario. Can. J. Soil Sci. 56: 181-196.

Gard, S. and Maaløe, O. 1959. Inactivation of viruses. In The viruses. Volume I. General virology. Edited by F.M. Burnett and W.M. Stanley. Academic Press, New York.

Gilbertson, C.B., Norstadt, F.A., Mathers, A.C., Hold, R.F., Barnett, A.P. 1979. Animal waste utilization on cropland. A manual for evaluating agronomic and environmental effects. U.S. Dep. Agric., Util. Res. Rep. No. 6, EPA-600/2-79-059.

Gillespie, R.W.H., Kenzy, S.G., Ringen, L.M. and Bracken, F.K. 1957. Studies on bovine leptospirosis. III. Isolation of Leptospira pomona from surface waters. Am. J. Vet. Res. 18: 76-80.

Gillham, R.W. and Webber, L.R. 1969. Nitrogen contamination of ground water by barnyard leachates. J. Water Pollut. Control Fed. 41: 1752-62.

Gratzek, J.B. 1967. General characteristics of viruses. In Veterinary bacteriology and virology. Edited by I.A. Merchant and R.A. Packer. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Greenfield, F. and Bigland, C.W. 1977. Control of bovine foot-rot by treatment of feedlot litter with paraformaldenyde. Br. Vet. J. 128: 578-584.

Guttay, J.R., Cook, R.L. and Erickson, A.E. 1956. The effect of green and stable manure on the yield of crops and on the physical condition of a Tappan-Parkhill loam soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20: 526-28.

Hafez, A.A.R. 1974. Comparative changes on soil-physical properties induced by admixtures of manures from various domestic animals. Soil Sci. 118: 53-59.

Haghiri, F., Miller, R.H. and Logan, T.J. 1978. Crop response and quality of soil leachate as affected by land application of beef cattle waste. J. Environ. Qual. 7(3): 406-412.

Haig, D.A. 1972. Disease hazard of pathogenic organisms in farm waste material. J. Sci. Food Agric. 23(6): 795.

Halstead, R.L. 1975. Materials used in agriculture as sources of metals in soils. Proc. of Workshop, Metals in Agriculture, University of Guelph, Guelph, Ontario.

Hamblin, D.C. 1980. Commercially processing and selling poultry waste as a feed ingredient. J. Anim. Sci. 50: 342-344.

Hansen, D. and Hagedorn, C. 1977. Survival and movement of fecal bacteria in soil under conditions of saturated flow. Abstr. Annu. Meet. Am. Soc. Microbiol. 77: 271.

Harmon, B.W., Fontenot, J.P. and Webb, K.E., Jr. 1975. Ensiled broiler litter and corn silage. II. Digestibility, nitrogen utilization and palatability by sheep. J. Anim. Sci. 40: 156.

Harris, D.L., Glock, R.D., Christensen, C.R. and Kinyon, J.M. 1972. Swine dysentery. I. Inoculation of pigs with Treponema hyodysenteriae (new species) and reproduction of the disease. Vet. Med. Small Anim. Clin. 67: 61-64.

Hart, L. 1947. Moniliasis in turkeys and fowls in New South Wales. Aust. Vet. J. 23: 191-192.

Hart, L., Hayston, I.T. and Keast, J.C. 1949. Observations on contagious pustular dermatitis of sheep. Aust. Vet. J. 25: 40-45.

Hayes, V.W. and Swenson, M.J. 1970. Minerals. In Duke's physiology of domestic animals. Edited by M.J. Swenson. Cornell Univ. Press, Ithaca, N.Y. pp. 663-696.

Helmer, J.W. 1980. Monitoring the quality and safety of processed animal waste products sold commercially as feed. J. Anim. Sci. 50: 340-355.

Hemingway, R.G. 1961. The mineral composition of farmyard manures. Emp. J. Exp. Agric. 29: 14-18.

Hensler, R.F., Olsen, R.J. and Attoe, O.J. 1970. Effects of dairy cattle manure on yield and recovery of twelve plant nutrients by corn. Agron. J. 62: 828-830.

Heule, D. 1975. Studies on the viability of helminth eggs in liquid pig manure. Inaugural Dissertation, Fachbereich Tiermedizin, München. 76 pp. (Abs: Vet. Bull. 46: 512. 1976).

Hileman, L.H. 1967. The fertilizer value of broiler litter. Agricultural Experiment Station, Division of Agriculture, University of Arkansas, Fayetteville. Report Series 158. 12 pp.

Hinton, M. 1975. Salmonella dublin abortion in cattle incidence and epidemiology. Br. Vet. J. 131: 94-101.

Hodgetts, B. 1971. The effects of including dried poultry waste in the feed of laying hens. In Livestock waste management and pollution abatement. Proc. Int. Symp. on Livestock Wastes. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan. pp. 311-313.

Hojovec, J. 1977. Health effects from waste utilization. In Animal wastes. Edited by E. Paul Taiganides. Applied Science Publishers Ltd., London. pp. 105-109.

Holm, L.G., Plucknett, D.L., Pancho, J.V. and Herberger, J.P. 1977. The world's worst weeds, distribution and biology. The University Press of Hawaii, Honolulu. U.S.A. pp. 604.

Hooper, R.S. 1970. The recovery of Salmonella dublin from rivers in Anglesey. Vet. Rec. 87: 583-586.

Jack, E.J. and Hepper, P.T. 1969. An outbreak of Salmonella typhimurium infection in cattle associated with the spreading of slurry. Vet. Rec. 84: 196-199.

Jackson, T.F. and Halbert, F.L. 1974. A toxic syndrome associated with the feeding of polybrominated biphenyl-contaminated protein concentrate to dairy cattle. J. Am. Vet. Med. Assoc. 165: 437-439.

Jensen, R. and Mackey, D.R. 1971. Diseases of feedlot cattle. Lea and Febiger, Philadelphia.

Johnson, J.C., Jr., Bowman, M.C., Leuck, D.B. and Knox, F.E. 1973. Persistence of dadanit in corn silage and effects of feeding dairy cows the treated silage. J. Dairy Sci. 56: 775-782.

Johnson, J.C., Jr., Jones, R.L., Leuck, D.B., Bowman, M.C. and Knox, F.E. 1974. Persistence of chlorpyrifos-methyl in corn silage and effects of feeding dairy cows the treated silage. J. Dairy Sci. 57: 1467-1473.

Johnson, R.A. 1955. The incidence of nitrates in rural Ontario well waters. Can. J. Public Health 46: 30-34.

Kahn, S.G. and Weisblatt, H. 1963. A comparison of nystatin and copper sulfate in experimental moniliasis of chickens and turkeys. Avian Dis. 7: 304-306.

Kennedy, K.J., van den Berg, L. and Murray, W.D. 1981. Advanced fixed film reactors for microbial production of methane from wastes. 2nd World Congress of Chemical Engineering, Montréal, Que. Vol. 1. p. 317-320. NRCC No. 19320.

Kennedy, P.C., Whitlock, J.H. and Roberts, S.J. 1952. Neurofilariasis, a paralytic disease of sheep. I. Introduction, symptomatology and pathology. Cornell Vet. 42: 118-124.

Ketcheson, J.W. 1969. Manure produces maximum yields of corn, but excessive nitrogen application may reduce yields. Progress Report, Dept. of Soil Science, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario.

Kingscote, A.A. 1950. Liver rot (Fascioloides) in ruminants. Can. J. Comp. Med. 14: 203-208.

Kirkham, M.B. 1977. Trace elements in sludge on land: effects on plants soils and groundwater. In Land as a waste management alternative. Edited by R.C. Loehr. pp. 209-316.

Knipling, E.F. 1938. Internal treatment of animals with phenothiazine to prevent development of horn fly larvae in the manure. J. Econ. Entomol. 31: 315-316.

Kohli, J.D., Khanna, R.N., Gupta, B.N., Dhar, M.M., Tandon, J.S. and Sircar, K.P. 1974. Absorption and excretion of 2,4-dichlorophenoxy-acetic acid in man. Xenobiotica 4: 97-100.

Kornegay, E.T., Hedges, J.D., Martens, D.C. and Kramer, C.Y. 1975. Effect of soil and plant mineral levels following three annual applications of swine manures of different copper contents. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburn, Virginia 24061. Research Division Report 163. pp. 213-215.

Lancaster, J.E. and Alexander, D.J. 1975. Newcastle disease, virus and spread. A review of some of the literature. Canada Dept. of Agriculture, Ottawa, Ontario. Monograph No. 11.

Leeper, G.W. 1972. Reactions of heavy metals with soils with special regard to their application in sewage wastes. Dept. of the Army, Corps of Engineers. Contract No. DACW73-C-0026. 70 pp.

Long, F.L., Lund, Z.F. and Hermanson, R.E. 1975. Effect of soil-incorporated dairy cattle manure on runoff water quality and soil properties. J. Environ. Qual. 4: 163-166.

Lunt, H.A. 1959. Digested sewage sludge for soil improvement. Bulletin 622. Connecticut Agricultural Experiment Station.

MacLean, A.J. and Hore, F.R. 1974. Manures and composts. Agriculture Canada, Ottawa, Ontario. Publ. 868.

Mann, G.S., Mangat, S. and Good, S.M. 1973. Micronutrient content of farmyard manure of the Punjab. J. Res. Punjab Agric. Univ. 10: 203-206.

Martin, W.E. 1972. Use of manure in agricultural production. Talk presented at 11th Ann. Dairy Cattle Day, Dept. Anim. Sci., Univ. Calif. Davis (As reported by Azevedo and Stout 1974).

Mazur, T. 1972a. Molybdenum content in farmyard manure and liquid manure of the Cracow Province. Rocz. Gleboznawcze 23: 93-100 (Pol., Eng. sum.).

Mazur, T. 1972b. Copper, cobalt, boron, zinc and manganese content in farmyard manure from the Cracow Province. Rocz. Gleboznawcze 23: 305-313. (Pol., Eng. sum.).

McCraw, B.M. and Lautenslauger, J.P. 1971. Pneumonia in calves associated with migrating Ascaris suum larvae. Can. Vet. J. 12: 87-90.

McKeague, J.A. and Kloosterman, B. 1974. Mercury in horizons of some soil profiles in Canada. Can. J. Soil Sci. 54: 503-507.

McLean, D.M. 1973. Detection and inactivation of enteroviruses in water. Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality. National Research Council of Canada. NRCC #13079. 26 pp.

McLean, R.C. and Ivimey-cook, W.R. 1956. Text book of theoretical botany. Vol. 2. Longmans, Green and Co. London. 2201 pp.

McQuitty, J.B. and Feddes, J.J.R. 1978. Warning: Manure gases are dangerous. Faculty of Agriculture and Forestry, University of Alberta, Edmonton, Alberta. Agriculture and Forestry Bulletin: 1(1).

Miller, B.F., Lindsay, W.L. and Parsa, A.A. 1969. Use of poultry manure for correction of Zn and Fe deficiencies in plants. In Proc. of the 1969 Cornell Agricultural Waste Management Conference. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor Michigan. pp. 120-123.

Miller, J.A., Chamberlain, W.E., Beadles, M.L., Pickens, M.O. and Gingrich, A.R. 1976. Methoprene for control of horn flies: Application to drinking water of cattle via a tablet formulation. J. Econ. Entomol. 69: 330-332.

Miller, R.B. and Quinn, P.J. 1975. Observations on abortions in cattle: Comparison of pathological, microbiological and immunological findings in aborted fetuses and fetuses collected at abattoirs. Can. J. Comp. Med. 39: 270-290.

Miller, R.W. and Gordon, C.H. 1972a. Encapsulated rabon for larval housefly control in cow manure. J. Econ. Entomol. 65: 455-458.

Miller, R.W. and Gordon, C.H. 1972b. Technical rabon for larval housefly control in cow manure. J. Econ. Entomol. 65: 1064-1066.

Miller, R.W. and Uebel, E.C. 1974. Juvenile hormone mimics as feed additives for control of the face fly and housefly. J. Econ. Entomol. 67: 69-70.

Miller, R.W., Gordon, C.H., Morgan, N.O., Bowman, M.C. and Beroza, M. 1970a. Coumaphos as a feed additive for the control of housefly larvae in cow manure. J. Econ. Entomol. 63: 853-855.

Miller, R.W., Gordon, C.H., Bowman, M.C., Beroza, M. and Morgan, N.O. 1970b. Gardona as a feed additive for control of fly larvae in cow manure. J. Econ. Entomol. 63: 1420-1423.

Mitchell, R.L. 1951. The trace constituents of the soil. In Proc. 11th Intern. Cong. Pure and Appl. Chem., London (1947) 3: 157-164.

Morrison, J.L. 1969. Distribution of arsenic from poultry litter in broiler chickens, soil and crops. J. Agric. Food Chem. 17: 1288-1290.

Morrison, S.M. and Martin, K.L. 1977. Pathogen survival in soils receiving wastes. In Land as a waste management alternative. Edited by R.C. Loehr. Proc. of the 1976 Cornell Agricultural Waste Management Conference. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan. pp. 371-389.

Morrow, D.A. 1968. Pneumonia in cattle due to migratory Ascaris lumbricoides larvae. J. Am. Vet. Med. Assoc. 153: 184-189.

Nelson, K.E. and Ager, E.A. 1973. An outbreak of Leptospirosis in Washington State. Am. J. Epidemiol. 98: 336-347.

Nielsen, S.W. and Aftosmis, J. 1964. Spinal nematodiasis in two sheep. J. Am. Vet. Med. Assoc. 144: 155-158.

Nordstrom, G.A. and McQuitty, J.B. 1976. Manure gases in the animal environment. Dept. of Agricultural Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta. Research Bulletin 76-1.

Nowosielska, B. 1966. The effect of different long-term treatments on the zinc content of soil. Rocz. Nauk roln. 91A: 429-439. Abstr. No. 61. In Bibliography on chemical properties of soils in temperate areas as affected by organic manuring. Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, England. Serial No. 1466.

Nuttall, W.F. 1970. Effects of organic amendments on some physical properties of luvisolic soils in relation to emergence of rapeseed in a growth chamber. Can. J. Soil Sci. 50: 397-402.

Page, E.R. 1966. The micronutrient content of young vegetable plants as affected by farmyard manure. J. Hortic. Sci. 41: 257-261.

Patni, N.K. and Hore, F.R. 1978. Pollutant transport to subsurface and surface waters in an integrated farm operation. International Joint Commission, Regional Office, Windsor, Ontario.

Patten, D.K., Wolf, D.C., Kunkle, W.E. and Douglas, L.W. 1980. Effect of antibiotics in beef cattle feces on nitrogen and carbon mineralization in soil and on plant growth and composition. J. Environ. Qual. 9(1): 167-172.

Pearce, G.R. 1975. The inclusion of pig manure in ruminant diets. In Managing livestock wastes. Proc. 3rd Int. Symp. on Livestock Wastes - 1975. Am. Soc. of Agr. Eng., St. Joseph, Michigan. pp. 218-219, 221.

Peterson, J.R., McCalla, T.M. and Smith, G.E. 1971. Human and animal wastes as fertilizers. In Fertilizer technology and use, 2nd edition. Edited by R.A. Olsen. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wisconsin. pp. 557-596.

Peterson, P.J. and Spedding, D.J. 1963. The excretion by sheep of ^{75}selenium incorporated into red clover (Trifolium pratense L.): The chemical nature of the excreted selenium and its uptake by three plant species. N.Z.J. Agric. Res. 6: 13-23.

Phillips, P.A., Culley, J.L.B., Hore, F.R. and Patni, N.K. 1981. Pollution potential and corn yield from selected rates and timing of liquid manure applications. Trans. ASAE(1) 24: 139-144.

Plommet, M. 1972. Survie de Brucella abortus dans le lisier de bovins. Disinfection par le xylene. Ann. Rech. Vet. 3: 621-632.

Pratt, P.F., Broadbent, F.E. and Martin, J.P. 1973. Using organic wastes as nitrogen fertilizers. Calif. Agric. 27: 10-13.

Price, N.O., Young, R.W. and Dickinson, J.K. 1972. Pesticide residues and polychlorinated biphenyl levels in diets, urine and fecal matter of preadolescent girls (36347). Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 139: 1280-1283.

Pyenson, L.L. 1977. Fundamentals of entomology and plant pathology. AVI Publishing Co. Inc. Westport, Conn.

Research Station Lethbridge 1971. Agriculture and the environment, Information Division, Agriculture Canada. News, No. 1438.

Rhodes, A.J. and van Rooyen, C.E. 1968. Textbook of virology (5th Ed.). The Williams and Wilkins Co., Baltimore.

Richardson, A. and Robinson, J. 1971. The identification of a major metabolite of HEOD (Dieldrin) in human feces. Xenobiotica 1: 213-219.

Ripley, P.O., Kalbfleisch, W., Bourget, S.J. and Cooper, D.J. 1961. Soil erosion by water. Agriculture Canada, Ottawa, Ontario. Publ. 1083.

Robinson, J.B. and Draper, D.W. 1978. A model for estimating inputs to the Great Lakes from livestock enterprised in the Great Lakes Basin. International Joint Commision, Regional Office, Windsor, Ontario.

Robinson, K., Draper, S.R. and Gelman, A.L. 1971. Biodegradation of pig waste: Breakdown of soluble nitrogen compounds and the effect of copper. Environ. Pollut. 2: 49-56.

Rogers, W.P. 1962. The nature of parasitism. Academic Press, New York and London.

Rumsey, T.S., Samuelson, G., Bond, J. and Daniels, F.L. 1974. Teratogenicity to 35-day fetuses, excretion patterns and placental transfer in beef heifers administered 4-tert-butyl-2-chlorophenyl methyl methylphosphoramidate (ruelene^{R}). J. Animal Sci. 39: 386-391.

Salisbury, E. 1964. Weeds and aliens. Collins Press, London. 384 pp.

Sharma, K.N. and Meelu, O.P. 1975. Effect on long-term application of P, K and farmyard manure on the zinc content of soil. J. Indian Soc. Soil Sci. 23: 76-82.

Sherman, M. and Herrick, R.B. 1973. Fly control and chronic toxicity from feeding Dursban^{R} (0,0-diethyl 0-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate) to laying hens. Poult. Sci. 52: 741-747.

Shope, R.E. 1965. Transmission of viruses and epidemiology of viral infections. In Virol. and rickettsial infections of man. Edited by F.L. Horsfall and I. Tamm. J.B. Lippincott Company, Philadelphia.

Shortall, J.G. and Liebhart, W.C. 1975. Yield and growth of corn as affected by poultry manure. J. Environ. Qual. 4: 186-191.

Shutt, F.T. 1898. Barnyard manure: Its nature, functions, composition fermentation, preservation and application. Ottawa, Government Printing Bureau, 1894 (Canadian Department of Agriculture) Experimental Farm Bulletin 31. pp. 604.

Sidle, R.C. and Kardos, L.T. 1977. Heavy metal relationships in the Penn State "living filter" system. In Land waste management alternative. Edited by R.C. Loehr. Proc. of the 1976 Cornell Agricultural Waste Management Conference. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan. pp. 249-260.

Siegmund, O.H. (ed.). 1979. Merck veterinary manual (5tn Ed.). Merck and Co., Rahway, New Jersey. 1600 pp.

Smelski, R. 1976. Personal communication to J.B. Robinson.

Smith, H.J. 1972. On the persistence of infective Ostertagia ostertagi, Cooperia oncophora and Nematodirus helvetianus on pastures. Can. J. Comp. Med. 36: 333-338.

Smith, H.J. 1974. On the natural seeding of marshland pastures with bovine gastrointestinal parasites. Can. J. Comp. Med. 38: 185-192.

Smith, H.J. and Archibald, R. McG. 1965a. Cross transmission of bovine parasites to sheep. Can. Vet. J. 6: 91-97.

Smith, H.J. and Archibald, R. McG. 1965b. The overwinter survival of bovine gastrointestinal parasites in the Maritime provinces. Can. Vet. J. 6: 257-267.

Smith, H.J. and Archibald, R. McG. 1969. On the survival of overwintering bovine gastrointestinal nematode larvae during the subsequent grazing season. Can. J. Comp. Med. 33: 44-47.

Smith, H.J. and Stevenson, R.G. 1970. A clinical outbreak of Trichuris discolor infection in stabled calves. Can. Vet. J. 11: 102-104.

Soulsby, E.J.L. 1965. Textbook of veterinary clinical parasitology. Volume 1. Helminths. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Soulsby, E.J.L. 1968. Helminths, arthropods and protozoa of domesticated animals. Bailliere, Tindall and Carsell, London.

Sowden, F.J. and Hore, F.R. 1976. Nitrogen movement near surface manure storages. Can. J. Soil Sci. 56: 223-231.

Statistics Canada. 1976. Canada census. Ottawa, Canada.

Stevenson, F.J. and Ardakani, M.S. 1972. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In Micronutrients in agriculture. Edited by J.J. Mortvedt, P.M. Giodano and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin. pp. 79-114.

Stojkovska, A. and Cooke, G.W. 1958. Micronutrients in fertilizers. Chem. Ind. 1958: 1368.

Strauch, D. 1977. Health hazards of agricultural, industrial and municipal wastes applied to land. In Land as a waste management alternative. Edited by R.C. Loehr. Proc. of the 1976 Cornell Agricultural Waste Management Conference. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan. pp. 317-342.

Stuedemann, J.A., Wilkinson, S.R., Williams, D.J., Ciordia, H., Ernst, J.V., Jackson, W.A. and Jones, J.B., Jr. 1975. Long-term broiler litter fertilization of tall fescue pastures and health and performance of beef cows. In Managing livestock wastes. Proc. 3rd Int. Symp. on Livestock Wastes - 1975. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan. pp. 264-268.

Swales, W.E. 1940. The helminth parasites and parasitic diseases of sheep in Canada. II. Notes on the effects of winter upon the free-living stages of nematode parasites of sheep of eastern Canada. Can. J. Comp. Med. 4: 1-7.

Swanson, C.L.W. 1954. Some physical facts about Connecticut soils. J. Soil Water Conserv. 9: 132-37.

Takijima, Y., Katsumi, F. and Koizumi, S. 1973. Cadmium contamination of soils and rice plants caused by zinc mining. III. Effects of water management and applied organic manures on the control of Cd uptake by plants. Soil Sci. Plant Nutr. 19: 183-193.

Tannock, G.W. and Smith, J.M.B. 1972. Studies on the survival of Salmonella typhimurium and Salmonella bovis-morbificans on soil and sheep feces. Res. Vet. Sci. 13: 150-153.

Taylor, D.J. and Alexander, T.J.L. 1971. The production of dysentery in swine by feeding cultures containing a spirochete. Br. Vet. J. 127: 58-61.

Taylor, R.J. and Burrows, M.R. 1971. The survival of Escherichia coli and Salmonella dublin in slurry on pasture and the infectivity of Salmonella dublin for grazing calves. Br. Vet. J. 127: 536-543.

Tietjen, C. 1966. Plant response to manure nutrients and processing of organic wastes. Proc. Nat. Symp. on Animal Waste Man. A.S.A.E. East Lansing, Michigan.

Tietjen, C. 1975. Influence of antibiotics and growth promoting feed additives on the manuring effect of animal excrements in pot experiments with oats. In Managing livestock wastes. Proc. 3rd Int. Symp. on Livestock Wastes: 1975. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan. pp. 328-330.

Townshend, A.R., Black, S.A. and Janse, J.F. 1970. Beef feedlot operations in Ontario. J. Water Pollut. Control Fed. 42(2) Part 1: 195-208.

van den Berg, L. 1980. Methane from wastes. National Research Council of Canada. NRCC No. 18541.

van den Berg, L. and Kennedy, K.J. 1981. Potential use of anaerobic processes for industrial waste treatment. Seminar on Anaerobic Waste Water Treatment and Energy Recovery. 3,4 Nov. 1981, Pittsburgh, PA. NRCC No. 19727.

Van Ness, G.B. 1975. Pathogenic microorganisms in the environment. In Proc. 3rd Int. Symp. Livestock Waste. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan. pp. 19-21.

Waksman, S.A. and Woodruff, H.B. 1940. The soil as a source of microorganisms antagonistic to disease producing bacteria. J. Bacteriol. 40: 581-600.

Walker, J.C. 1969. Plant pathology. 3rd. Ed. McGraw-Hill, N.Y. 819 pp.

Wallingford, G.W., Murphy, L.S., Powers, W.L. and Manges, H.L. 1975a. Effects of beef-feedlot manure and lagoon water on iron, zinc, manganese and copper content in corn and in DTPA soil extracts. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 482-487.

Wallingford, G.W., Murphy, L.S., Powers, W.L. and Manges, H.L. 1975b. Disposal of beef-feedlot manure: Effects of residual and yearly application on corn and soil chemical properties. J. Environ. Qual. 4: 526-531.

Warman, P.R., Thomas, R.L., Corke, C.T. and Moran, E.T. 1977. Recovery and reactions of amprolium from poultry manure added to soil. Biol. Biochem. 9: 267-270.

Warren, R.G. and Johnston, A.E. 1962. Barnfield. In Rep. Rothamsted Exp. Stn. for 1961. Harpenden Herts, England. pp. 227-247.

Warwick, S. 1982. Personal communications to M.D. Sutton. National Research Council of Canada. Ottawa, Ontario.

Webber, J. 1972. Effects of toxic metals in sewage on crops. Water Pollut. Control. 1972: 404-413.

Webber, L.R. and Lane, T.H. 1969. The nitrogen problem in the land disposal of liquid manure. In Animal waste management. Cornell University Conference on Agricultural Waste Management, Jan. 13-15. Syracuse, N.Y. pp. 124-130.

Webber, L.R. and Beauchamp, E.G. 1975. Heavy metals in corn grown on waste amended soils. In Int. conf. on heavy metals in the environment. Symp. Proc. Toronto, Ontario. Volume II, Part I. pp. 443-451.

Whetstone, G.A., Parker, H.W. and Wells, D.M. 1974. Study of current and proposed practices in animal waste management. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 430/9-74-003.

Whitacre, D.M., Schwemmer, B.A. and Schultz, K.L. 1974. The fate of the phosphorothioate insecticide leptophos in plants and animals. Ent. Soc. Am. (Proc. of North Central Branch) 29: 146-147.

Whitby, L.M., Gaynor, J. and MacLean, A.J. 1978. Metals in soils of some agricultural watersheds in Ontario. Can. J. Soil Sci. 58: 325-330.

White, R.K., Taiganides, E.P. and Cole, G.D. 1971. Chromatographic identification of malodors from dairy animal waste. In Livestock waste management and pollution abatement. Proc. Int. Symp. on Livestock Wastes. Am Soc. Agr. Eng., St. Joseph, Michigan. pp. 110-113.

Wilkinson, S.R., Stuedemann, J.A., Williams, D.J., Jones, J.B., Jr., Dawson, R.N. and Jackson, W.A. 1971. Recycling broiler house litter on tall fescue pastures at disposal rates and evidence of beef cow health problems. In Livestock waste management and pollution abatement. Proc. Int. Symp. on Livestock Wastes. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan. pp. 321-324.

Williams, R.J.B., Stojkovaska, A., Cooke, G.W. and Widdowson, F.V. 1960. Effects of fertilizers and farmyard manure on the copper, manganese, molybdenum and zinc removed by arable crops at Rothamsted. J. Sci. Food Agric. 11: 570-575.

Wood, R.L. 1974. Isolation of pathogenic Erysipelothrix rhusiopathiae from feces of apparently healthy swine. Am. J. Vet. Res. 35: 41-43.

Wood, R.L. and Packer, R.A. 1972. Isolation of Erysipelothrix rhusiopathiae from soil and manure of swine raising premises. Am. J. Vet. Res. 33: 1611-1620.

Zmigrodzka, T., Planner, J. and Zembaczynski, A. 1972. The content of some trace elements (Mn, B, Cu, Fe) in farmyard manure from the farms of the Zielona Gora Province. Rocz. Gleboznawcze. 23: 299-300 (Pol., Eng. sum.).

INDEX DES MATIÈRES

N.B. Les chiffres correspondent au CHAPITRE, à la SECTION, à la SOUS-SECTION, etc. Par exemple, 343 désigne le Chapitre 3, la Section 4 et la Sous-section 3.

Abattage, 618, 619
Abcès podaux, 612
Accidents, 30, 312, 313
Acide désoxyribonucléique (ADN), 70
Acide ribonucléique (ARN), 70
Acide urique, 211, 215
Acides organiques, 211, 215
Aération, 43, 725, 836
Aérosols, 50, 53, 91, 921, 922
Agents pathogènes, 10, 44, 56
  Aériens, 93
  Bactéries, 53, 60, 61
    Bacillus anthracis, 6110
    Bacteriodes nodocus (Fusiformis nodusus), 612
    Borrelia anserina, 617
    Brucella, 53, 618, 90
    Campylobacter fetus, sous-espèce jejuni, 615
    Clostridium, 614, 90, 922
    Erysipelothrix rhusiopathiae (E. insidiosa), 613, 90
    Escherichia coli, 611, 723, 922
    Fusobacterium necrophorum (Sphaerophorus necrophorus), 611, 612
    Leptospires, 617, 90, 91
    Mycobacterium avians, 619, 90
    Mycobacterium paratuberculosis, 619, 90
    Pasturella antipestifer, 611
    Pasturella multocida, 611
    Salmonelles, 616, 90, 91, 921, 922
    Salmonella dublin, 616, 921, 93
    Salmonella pullorum, 616
    Salmonella typhi, 616
    Spirochaeta penortha, 612
    Survie, 921 922
    Treponema hyodysenteriae, 615, 90
    Vibrions, 615
    Voir aussi Noms des maladies
  Champignons, 60, 62, 621, 63, 90, 922
    Aspergillus fumigatus, 6211
    Candida albicans, 6221
    Cryptococcus neoformans, 6212
    Histoplasma capsulatum, 6213
    Mucor pusillus, 621
    Petriellidium boydii, 621
  Chez les plantes, 100, 102
  Parasites, 80
    Lutte contre les, 831-837
    dans les Maritimes, 825
    dans l'est du Canada, 825
    Eimeria tanella, 836
    en Angleterre, 827
    Fasciola hepatica, 836
    Fascioloides magna, 823
    Habronema, 826
    Parasite pulmonaire (Metastronglus apri), 713, 826, 827
    Parelaphostrongylus tenuis, 823
    Sclérostomes chez les chevaux, 837
    Spécificité des hôtes des, 821, 822, 823
  Parasites (suite)
    Strongyles équins, 812, 927, 90
    Survie, 811-815, 825-827, 831-837, 90
    Taenia hydatigena, 836
    Taenia pisiformis, 813
    Transmission, 823
    Trichostronglus axei, 822
    Trichuris suis, 836
    Vecteurs, 826, 90
  Survie, 90, 91, 921, 922
    dans L'eau, 91
    dans Les pâturages, 814, 815, 82, 821, 822, 824, 825, 827, 91, 921
  Virulence, 922, 102
  Virus, 70
    Effet de la lumière, 721, 722
    Effet de la température, 723
    Excrétion, 711
    Survie, 721, 722, 723, 724, 725, 73, 90, 921, 922
    Transmission, 711, 712, 713, 714
Agents phytopathogènes, Voir Agents pathogènes - Chez les plantes
Ammoniac, 10, 215, 2221, 231, 2321, 31, 312, 32, 101
Analyse chromatographique, 32
Anémie infectieuse équine, 712
Animaux
  À un estomac, Voir Non ruminants
  Élevage des, 93
  Étables, 31, 312, 313, 102
  Santé des, 30, 312, 42, 43, 60, 63, 90, 921
  Voir aussi Bétail; Bovins; Chevaux; Moutons; Porcs
Ankylostomiase 837, Voir aussi Agents pathogènes-Parasites
Antibiotiques, 53, 56, 6110, 63
Arsenic, 40, 412, 42, 43
Arthropodes, 712
Ascarides, 80, 811, 812, 813, 814, 822, 825, 826, 836, 90
Asphyxiants, 311
Azote, 10, 211, 212, 214, 215, 2221, 2322, 2323, 43, 44, 53

Bactéries, 215, 313, 53, 551, 63, 921
  Voir aussi Agents pathogènes - Bactéries
Bassin inférieur des Grands Lacs, 6213
Bassins de rétention, 2322, 30, 312, 313, 53
  Voir aussi Fumier - Stockage
Bétail, 615, 617, 618, 619, 6211, 6212, 6213, 822
  Broutement du, Voir Agents pathogènes - Survie dans les pâturages
  Excrétion des virus, 711
  Lutte contre les mouches, 53, 55
  Maladies bactériennes du, 61
    Voir aussi Agents pathogènes-Bactéries; Nom des maladies
  Polluants dans la nourriture, 52
  Résidus dans la litière du, 51

Bétail (suite)
Résidus dans le fourrage du, 50, 51, 52, 53
Tétanie, 2321
Voir aussi Agents pathogènes; Bovins; Chevaux; Fumier; Moutons; Porcs
Béton, 2322, 612
Bio-gas of Colorado, 53
Biodégradation, 53
Blastomycose, 621
Bore, 40, 42
Boues résiduaires, 411, 42, 43, 44, 73
Brucellose, 618, 63

Calcium, 214, 2221, 2222, 837
Candidose, 6221, 63
Carbone, 222, 53
Rapport C:N, 215, 231
Centre technique des eaux usées, Burlington, 44
Cestodes, 80
Champignons, Voir Agents pathogènes-Champignons
Charbon bactéridien, 6110, 91, 922
Chaulage, 42, 43, 837
Chenils, 837
Chevaux, 211, 213, 214, 215
Maladies des, 6212, 6213, 712, 822
Voir aussi Fumier - Cheval
Chlore, 40, 51
Choléra aviaire, 611
Cobalt, 40, 411, 412, 413, 42
Coccidioïdomycose, 621
Cochons, Voir Porcins
Colibacillose, 91
Composés organophosphorés, 51, 55
Compostage, 22, 73, 834
Conditions climatiques, 215, 231, 2322, 32, 313, 815, 825, 833
Conditions hydrologiques, 2322, 91
Conservation, 231, 91, 92
Cours d'eau, 2323, 922, 93
Enrichissement, 10, 2322
Cours de ferme, 2322, 2323
Voir aussi Fumier - Stockage
Crustacés, Voir Vecteurs
Cryptococcose, 6212
Cuivre, 2321, 40, 411, 412, 413, 42, 44, 6221
Cultures, 231, 43, 51
Céréales, 231, 42, 53
Légumes, 42, 43
Maïs, 231, 2322, 2323, 42, 51
Rendement, 215, 231, 40, 42, 43, 53
Tabac, 51, 101
Trèfle, 221, 231, 42
Cyanures, 811, 837

Dangers pour la santé, 30, 312, 313, 32, 60, 612-6, 6211, 63, 92, 922, 93
Décès, 30, 312, 313
Déchets, 32, 40, 55, 56, 91
Demande biochimique en oxygène, 214, 215, 2322
Dénitrification, 215
Désinfectants, 52, 611, 612, 613, 616, 618, 812, 832, 837
Voir aussi Température
Désodorisants, 551
Destruction des poissons, 2322
Diarrhée, 611, 614
Diéthylstilbestrol, 53

Dioxyde de carbone, 215, 2221, 31, 311, 811
Diphtérie aviaire, 712
Drainage, 312, 44, 824
Dysenterie, 614, 90
Dysenterie d'hiver des bovins, 615

Eau potable, 2322, 44, 53, 91, 93
Eaux souterraines, 2221, 231, 2322, 91, 92, 922
Économie, 10, 22, 231, 312, 63
Ecthyma contagieux, 711, 73
Effluents provenant du drainage des dalles, 2322, 2323, 922
Éléments non nutritifs, 40, 41, 43
Eléments nutritifs, 22, 221, 2221-4, 231, 2321, 2322, 2323, 91
Éléments traces, 41, 412, 43, 70
Encéphalomyélite aviaire, 711
Voir aussi Volaille - Maladies
Engrais, 214, 22, 2222, 231, 411, 44, 91
Comparaison du fumier et des produits chimiques, 231, 42
Pour détruire les parasites, 837
Ensilage, 42, 51
Entérotoxémies, 614, 90
Enzymes, 551
Erosion, 22, 221
Erysipèles, 613, 90, 91
Etangs, 42, 90
Etudes lysimétriques, 44

Faune sauvage, 714, 823
Fèces, 212, 214, 215, 53, 717, 73, 815
Voir aussi Fumier
Fer, 40, 411, 412, 413, 42
Ferme expérimentale centrale, 2322
Fermentation, 215, 836
Fièvre aphteuse, 711
Fièvre des marais, 617
Fièvre ondulante, 618
Fièvre Q, 93
Fièvre typhoïde, 616
Fourrage, Voir aussi Nourriture
Fumier
Agents pathogènes chez le, 60, 611
Voir aussi Agents pathogènes
Amendement des terres, 10, 43, 44, 92
Voir aussi Epandage de fumier
Bétail, 214, 215, 231, 2323, 53, 80
Bovins, 211, 212, 213, 214, 215, 2221, 2322, 2323, 42
Composition, 412, 51, 54
Parasites dans, 836
Production de gaz, 31
Cheval, 211, 213, 214, 215
Analyse, 412, 54
Maladies transmises par le, 6212, 6213, 712, 822
Voir aussi Agents pathogènes; Nom des maladies
Mouton, 211, 213, 214, 215
Analyse, 412, 42, 43
Porc, 211, 212, 213, 214, 231, 2322, 922
Additifs, 53
Analyse, 412, 413, 42, 43
Volaille, 213, 214, 2221, 2222, 2321, 2322, 42, 6213
Analyse, 412, 43
Toxicité, 101
Boues, 2222, 42, 91, 921
Chaleur de fermentation du, 832, 834

Fumier (suite)
comme Ressource, 10, 231, 2322, 92
comme Vecteur de dispersion des mauvaises herbes, 100, 103
Voir aussi Agents pathogènes - Plantes
Comparaisons, 214
Vaches laitières et bovins, 214
Volaille et bovins, 231
Composition du, 213, 214, 22, 231, 41, 412, 413, 42, 44, 51, 53
Critères d'utilisation du, 43, 92
Décomposition du, 21, 215, 221, 231, 31, 313, 53, 63, 836
Distribution du, 22
Effet sur les propriétés du sol, 221, 411, 43
Comme engrais, 231
Effets néfastes du, 2321, 2322
Effets physiologiques de gaz, 31, 312, 313
Effets phytotoxiques, 232, 40, 50, 101
Voir aussi Agents pathogènes - Plantes
Élimination du, 2322, 91, 93
Élimination sélective, 821
Entreposage, 21, 215, 231, 2322, 30, 311, 60, 73, 831, 832, 91
Épandage, 22, 231, 42, 43
Épandage en hiver, 2323
Excréments, 44, 617, 6212
Expériences en pots, 53
Gaz, 215, 30, 31, 311, 312
Incorporation dans le sol, 231, 32, 921
Injection, 2322
Liquide, 30, 31, 312, 53, 836, 921, 93
Manipulation du, 2322, 30, 91
Médicaments dans le, 50, 53
Métaux, 2321
Parasites, 80, 812, 815, 82, 821, 824, 827, 90
Voir aussi Agents pathogènes-Parasites
Polluants dans le, 52, 56
Propriétés explosives des gaz, 311
Propriétés physiques, 21, 212
Réservoirs, sources de contamination, 2322, 615, 90, 91
Résidus dans le, 51, 52, 53, 55, 56
Séchage, 215, 724, 813, 833
Tas, effet de sa hauteur, 215
Teneur en humidité, 213
Traitement antiparasitaire, 831-7
Traitement chimique du, 837, 921
Traitement des gaz, 313
Transmission des maladies par le, Voir Agents pathogènes
Transport, 22
Utilisations, 10, 22, 43
Valeur, 231
Voir aussi Économie
Volumes de production, 213

Gastroentérite, 711
Gaz toxiques, 215, 221, 2221, 30, 31, 312, 313
Gestion, 231, 2322, 2323, 60, 821
Graines de mauvaises herbes, 10, 100, 103
Voir aussi Agents pathogènes - Chez les plantes
Grande Lacs, 2323
Grippes, 711, 713, 722
Groupe d'étude de la pollution causée par les activités liées à l'utilisation des terres, 2323
Guide canadien pour l'usage des déchets d'origine animale, 213, 215, 2322, 30, 91

Hépatite, 615, 91
Herbicides, 51, 101, 103
Histoplasmose, 621, 6213
Hormones synthétiques, 53
Hôtes inhabituels, Voir Agents pathogènes - Parasites - Spécificité des hôtes
Humidité, 724, 813, 815, 825, 833, 922
Hydrogène, 215

Incinération, 832
Insecticides, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 551
Institut de recherches vétérinaires, Agriculture Canada, 2323

Lait
Agents pathogènes dans le, 611, 6212, 723
Résidus dans le, 51
Lapins, 712, 822
Larves d'hypodermes, 55
Leptospirose, 617, 91, 93
Levures, 6212
Liniments, 54
Litière, 21, 214, 2221, 231, 421, 610, 612, 711, 91, 101, 102, 103
Résidus dans la, 51
Lixiviation, 215, 2222, 231, 2322, 44, 91, 92
Lutte contre les mouches, 551
Voir aussi Insecticides
Lyophilisation, 725

Magnésium, 214
Maladie de Johne, 619, 63, 90
Maladie de Marker, 711
Maladie de Newcastle, 722, 93
Maladie de Teschen, 711
Maladies des chèvres, 618, 619
Maladies mycobactériennes, 619
Maladies néonatales, 611
Maladies professionnelles, 618, 6110, 6211, 63, 90
Mammite, 6212, 6221, 63
Manganèse, 40, 411, 412, 413, 42
Matière organique, 22, 221, 231, 2322, 31, 42, 43, 44, 62
Médication prophylactique, 616, 63
Mercure, 54
Mesure sensorielle (perception olfactive), 32
Mesures de prévention, 2322, 611-4, 616-7, 6110, 63, 826-7, 831-7
Mesures hygiéniques, 63
Métaux lourds, 10, 40, 41, 411-3, 43, 44, 101
Méthane, 10, 215, 22, 31, 311, 53
Méthémoglobinémie infantile, 2322
Méthoprène, 53, 551
Micro-éléments nutritifs, 40, 41, 413, 42, 43, 44, 101
Micro-organismes, 2221, 231, 31, 56, 63
Microbes, 211, 215, 221
Mirex, 52
Molybdène, 40, 412, 413, 42, 43

Monoxyde de carbone, 811
Mouche bleue de la viande, 712
Mouton
  Maladies, 612, 614, 617, 619
  Parasites, 812, 823
  Voir aussi Agents pathogènes-Parasites
  Voir aussi Fumier-Bétail-Moutons
Mycoses, Voir Agents pathogènes-Champignons

Nalède, 54
Nappe phréatique, 2322
Nématodes, 713, 80, 825
Nickel, 40, 411, 413, 44
Nids de pigeon, 6212
Nitrates, 215, 2221, 2321, 2322, 312
Non ruminants, 211
  Voir aussi Chevaux; Porc; Volaille
Nourriture, 211, 212, 214, 412, 413
  Additifs dans la, 50, 53, 101
  Résidus dans la, 50, 51, 52, 53, 56

Odeurs, 10, 30, 32
Oeufs d'helminthes, 831, 836
  Voir aussi Agents pathogènes-Parasites
Oiseaux, 211, 103
  Voir aussi Faune sauvage; Volaille
Oxydation, 215, 725
Oxytétraccycline, 53

Parasites gastro-intestinaux, Voir Agents pathogènes-Parasites
Pasteurisation, 723
Pâturages, 2322, 2323, 412, 42, 90, 91, 92, 921
Peaux contaminées, 613
Pénicilline, 613
Permanganate de potassium, 551
Peste aviaire, 712
Peste bovine, 711
Peste porcine, 711, 713
  Voir aussi Porcins-Maladies des
Peste porcine africaine, 711
Pesticides, 10, 411
  Résidus, 50, 51
pH, 215, 2221, 2322, 31, 42, 43, 90, 922
Phénothiazines, 53
Phlébotomes, 712
Phosphates, 43, 837
Phosphore, 10, 212, 214, 215, 2222, 231, 2321, 2322, 2323, 44
Piclorame, 51, 101
Plantes
  Croissance, 22, 221, 2224, 2322, 42, 815
  Maladies des, 102
  Toxicité, 40, 42, 43, 51
  Voir aussi Cultures
Pneumonie, 312
Pododermatite nécrotique, 612
Poliomyélite, 723, 73, 90, 91
Pollution, 2322, 2323, 43, 44
Pollution de l'eau, 2322, 2323, 44, 90, 91, 92, 922, 93
Polyarthrite, 611
Polybromo et polychloro biphényles, 52
Porcins
  Excrétion des virus, 711
  Maladies des, 613, 614, 617, 618, 6212, 6213, 711, 713, 90
Porcins (suite)
  Prise de poids, 312
  Voir aussi Fumier - Bétail - Porcins
Potassium, 10, 212, 214, 215, 2223, 231, 2321, 2322
Poussière, 93
Processus aérobies, 215, 2322, 313, 32, 834
Processus anaérobies, 215, 231, 2322, 30, 31, 32, 612, 614, 73, 835
Processus de digestion, 211, 212
Protéines, 211, 212, 214, 215, 31, 53
Protozoaires, 80

Qualité de l'eau, 2323, 44, 93
  Voir aussi Eaux souterraines
Quarantaine, 616, 618, 63

Réserve en oxygène, 215, 811
Résidus de polluants organiques, 10, 50, 52, 56
Rhinopneumonie, 711
Rhinotrachéite infectieuse bovine, 711
Risques d'incendie, 311
Rongeurs, 51, 54, 617
Ruissellement, 221, 2222, 231, 2322, 2323, 44, 824, 90, 91, 922
Ruminants, 211, 214, 822, 823
  Voir aussi Bovins; Moutons

Salmonellose, 616, 91, 93
  Voir aussi Agents pathogènes-Bactéries
Scarabées, 827
Sélénium, 40, 412, 413, 42
Sels de sodium, 214, 2222, 42, 44, 837
Septicémie, 611
Sérotypes, 56, 611, 617
Sols
  Accumulation de sel, 2321, 101
  Agents pathogènes dans les, 612, 613, 614, 618, 90, 921, 922
  Amendés avec des boues, 40
  Analyse des, 2322
  Argile, 221, 231, 2322, 837, 922
  Canadiens, 41,, 411
  Composition, 221
  de Loam sableux, 221, 231, 2322, 827
  de Loam silteux, 2222
  Effets du fumier, 231, 2321
    Voir aussi Eléments nutritifs; Fumier; Micro-éléments nutritifs
  Fertilité, 2322
  Humidité, 2221
  Métaux dans les, 40, 41, 411, 413, 42, 43, 44
  Migration des parasites, 827
  Ontario, 411
  Perméabilité des, 221, 231, 2322
  Propriétés chimiques, 43, 90
  Propriétés physiques, 22, 221, 2222, 2322
  Qualité, 40, 53, 56, 91
  Résidus dans les, 2323, 51, 56
  Sableux, 221, 922
  Traitement des, 2222, 837
Spécificité de l'hôte, Voir Agents pathogènes-Parasites-Spécificité de l'hôte
Spirochètes, Voir Agents pathogènes-Bactéries
Spirochétose, 617
Sulfure d'hydrogène, 215, 31, 312, 313, 32
Sulfure de diméthyle, 32

Température, 215, 231, 2322, 723, 73, 812, 815, 832, 922
  Effet sur les parasites, 812, 813, 825
Tests de contrôle, 837
Tétanos, 63
Tiques, 712
Toxémies, 614
Traitements thérapeutiques, 50, 54, 616
Transfert génétique de la résistance, 56
Transformation des aliments, 63, 90
Trichures, 80, 811, 812, 813, 837
Trichuriose, 813
Tuberculose, 619

Urée, 211, 215, 837
Urine, 212, 214, 215, 42, 51, 711
  Voir aussi Fumier

Vaccination, 611, 612, 613, 614, 616, 618, 6110, 63
Vecteurs, 6213, 823, 826, 90
Ventilation, 311, 312
Vers de terre, 713, 826, 827, 90
Vers intestinaux filaridés, 80, 812, 825, 827
Virus, Voir Agents pathogènes-Virus
Volaille
  Excrétion des virus, 711
  Maladies, 61, 611, 613, 617, 619, 6211, 6221, 63
  Voir aussi Fumier-Bétail-Volaille
Volatilisation, 215, 2221, 231, 2321, 2322, 32

Zinc, 2321, 40, 411, 412, 413, 42, 43, 44, 101
Zones récréatives, 2322, 93

PUBLICATIONS

of the
du

Environmental Secretariat
Secrétariat de l'environnement

NRCC Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality
CNRC-Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement

NRCC No. CNRC n°	
12678	Inventory of Pollution-Relevant Research in Canada. Interim Report, Vols. 1, 2. Etat de recherches sur la pollution au Canada. Rapport provisoire, Tomes 1, 2. 1972. 310 pp. $6.50. (Out of print - Edition épuisée)
14108	Inventory of Pollution-Relevant Research in Canada. Vols. 3, 4. Etat de recherches sur la pollution au Canada. Tomes 3, 4. 1975. 558 pp. $6.50.
12226	Environmental Fluoride (Special Report). 1971. 39 pp.
12226	Le fluor dans l'environnement. 1971. 41 pp.
13079	Detection and Inactivation of Enteroviruses in Water. 1973. 26 pp. $1.25.
13080	Problems and Selection of Topics for Compilation of Cause/Effect Data. 1973. 51 pp. $1.25.
13236	Détection et inactivation des entérovirus dans l'eau. 1973. 30 pp. $1.25.
13339	Problèmes et choix de thèmes en vue d'une compilation de données cause/effet. 1974. 45 pp. $1.25.
13501	The Effects of Pulp and Paper Wastes on Aquatic Life with Particular Attention to Fish and Bioassay Procedures for Assessment of Harmful Effects. 1973. 60 pp. $2.50.
13502	L'effet des déchets de pâtes et papier sur la vie aquatique. 1974. 75 pp. $2.50.
13566	A Criteria Digest on Radioactivity in the Environment. 1974. 53 pp. $1.50.
13567	Un résumé de critères sur la radioactivité dans l'environnement. 1974. 45 pp. $1.50.
13682	Lead in the Canadian Environment. 1973. 116 pp. $2.00. (Out of print - See NRCC 16736).
13683	Le plomb dans l'environnement canadien. 1973. 130 pp. $2.00. (Edition épuisée - voir CNRC 16737).
13684	Picloram: The Effects of Its Use as a Herbicide on Environmental Quality. 1974. 128 pp. $1.00.
13685	Piclorame: les effets de son utilisation comme herbicide sur l'état de l'environnement. 1974. 130 pp. $1.00.
13686	A Method of Monitoring Nationally for Possible Delayed Effects of Various Occupational Environments. 1974. 42 pp. $1.25.
13687	Une méthode de surveillance nationale des effets possibles, à long terme, du milieu professionnel sur la santé. 1974. 40 pp. $1.25.
13688	Environmental Cause/Effect Phenomena Relating to Technological Development in the Canadian Arctic. 1974. 125 pp. $2.00.
13689	Phénomènes environnementaux de cause à effet liés au progrès technique dans l'arctique. 1974. 128 pp. $2.00.
13690	The Application of the Phosphorus Loading Concept to Eutrophication Research. 1974. 42 pp. $1.25.
13691	Application du concept de la vitesse d'apport de phosphore par unité de surface à la recherche sur l'eutrophisation. 1974. 44 pp. $1.25.

Available through prepaid purchase orders from

En vente, moyennant commandes prepayées, au Service des

Publications, NRCC/CNRC
Ottawa, Ontario K1A 0R6

NRCC No. CNRC n°	
14094	Chlordane: Its Effects on Canadian Ecosystems and Its Chemistry. 1974. 189 pp. $1.00.
14095	Chlordane: ses effets sur les ecosystèmes canadiens et sa chimie. 1975. 192 pp. $1.00.
14096	Photochemical Air Pollution: Formation, Transport and Effects. 1975. 224 pp. $2.50.
14097	La pollution photochimique de l'air: sa formation, son transport et ses effets. 1976. 203 pp. $2.50.
14098	Endosulfan: Its Effects on Environmental Quality. 1975. 100 pp. $1.25.
14099	Endosulfan: ses effets sur l'état de l'environnement. 1976. 98 pp. $1.25.
14100	Waterborne Dissolved Oxygen Requirements and Criteria With Particular Emphasis on the Canadian Environment. 1975. 111 pp. $2.00.
14101	Exigences et critères relatifs à l'oxygène dissous dans l'eau, et leurs particularités à l'environnement canadien. 1976. 111 pp. $2.00.
14102	Methoxychlor: Its Effects on Environmental Quality. 1975. 164 pp. $2.00.
14103	Méthoxychlore: ses effets sur l'état de l'environnement. 1976. 161 pp. $2.00.
14104	Fenitrothion: The Effects of Its Use on Environmental Quality and Its Chemistry. 1975. 162 pp. $2.00.
14105	Fénitrothion: effets de son utilisation sur l'état de l'environnement, et sa chimie. 1976. 164 pp. $2.00.
14106	Arboviruses and Human Health in Canada. 1975. 35 pp. $1.25.
14107	Arbovirus pathogènes au Canada. 1976. 40 pp. $1.25.
14109	Waste Heat in the Aquatic Environment. 1975. 40 pp. $1.00.
14110	Pollution thermique de l'environnement aquatique. 1976. 68 pp. $1.00.
15015	Sulphur and Its Inorganic Derivatives in the Canadian Environment. 1977. 426 pp. $5.00.
15016	Le soufre et ses dérivés minéraux dans l'environnement canadien. 1978. 441 pp. $5.00.
15017	Effects of Chromium in the Canadian Environment. 1976. 168 pp. $2.00.
15018	Les effets du chrome dans l'environnement canadien. 1977. 162 pp. $2.00.
15019	The Effects of Alkali Halides in the Canadian Environment. 1977. 171 pp. $2.00.
15020	Les effets des halogénures alcalins dans l'environnement canadien. 1977. 171 pp. $2.00.
15021	The Effects of Petroleum Refinery Liquid Wastes on Aquatic Life, with Special Emphasis on the Canadian Environment. 1976. 77 pp. $2.00.
15022	Les effets des déchets liquides du raffinage du pétrole sur la vie aquatique, particulièrement dans l'environnement canadien. 1977. 86 pp. $2.00.
15023	NTA (Nitrilotriacetic Acid) - An Ecological Appraisal. 1976. 46 pp. $1.25.
15024	NTA (acide nitrilotriacétique) - une analyse écologique. 1977. 48 pp. $1.25.
15383	Effects of Noise on Man. 1976. 87 pp. $2.50.
15384	Les effets du bruit sur l'homme. 1977. 92 pp. $2.50.
15385	*Bacillus thuringiensis*: Its Effects on Environmental Quality. 1976. 133 pp. $2.00.
15386	*Bacillus thuringiensis*: ses effets sur l'état de l'environnement. 1977. 127 pp. $2.00.
15387	Medicare Data: Its Use in Defining the Effects of the Environment on Health. 1977. 164 pp. $2.50.
15388	Les statistiques de l'assurance-maladie et leur rôle dans la définition de l'influence de l'environnement sur la santé. 1978. 166 pp. $2.50.

NRCC No.
CNRC n°

15389 Fenitrothion: The Long Term Effects of Its Use in Forest Ecosystems - Current Status. 1977. 18 pp. $1.00.

16074 Fénitrothion: effets à long terme de son utilisation dans les écosystèmes forestiers - situation actuelle. 1977. 20 pp. $1.00.

15391 Effects of Arsenic in the Canadian Environment. 1978. 363 pp. $2.00.

15392 Les effets de l'arsenic sur l'environnement canadien. 1979. 415 pp. $2.00.

16073 Proceedings of a Symposium on Fenitrothion: The Long-Term Effects of Its Use in Forest Ecosystems. Comptes rendus du symposium sur le fénitrothion: les effets à long terme de son utilisation dans les écosystèmes forestiers.
1977. 628 pp. $10.00.

16075 Phenoxy Herbicides: Their Effects on Environmental Quality with Accompanying Scientific Criteria for 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD). 1978. 440 pp. $2.00.

16076 Herbicides phénoxy - analyse de leurs effets sur l'état de l'environnement accompagnée de critères scientifiques à l'égard de la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine (TCDD). 1979. 452 pp. $2.00.

16077 Polychlorinated Biphenyls: Biological Criteria for an Assessment of Their Effects on Environmental Quality. 1978. 172 pp. $2.00.

16078 Polychlorobiphényles: critères biologiques pour évaluer leurs effets sur l'état de l'environnement. 1979. 208 pp. $2.00.

16079 Ecotoxicology of Chlorpyrifos. 1978. 314 pp. $2.00.

16080 Ecotoxicologie du chlorpyrifos. 1979. 250 pp. $2.00.

16081 Environmental Fluoride 1977. 1978. 152 pp. $2.00.

16082 Le fluorure dans l'environnement, 1977. 1979. 175 pp. $2.00.

16446 Effects of Ultraviolet Radiation on Man. 1978. 90 pp. $2.00.

16447 Les effets du rayonnement ultraviolet sur l'homme. 1979. 91 pp. $2.00.

16448 The Biological Effects of Radio-frequency and Microwave Radiation. 1979. 244 pp. $5.00.

16449 Effets biologiques des radiofréquences et des micro-ondes. 1980. 244 pp. $5.00.

16450 The Aqueous Chlorination of Organic Compounds: Chemical Reactivity and Effects on Environmental Quality. 1978. 136 pp. $2.00.

16451 Chloration en milieu aqueux de composés organiques: réactivité chimique et effets sur l'état de l'environnement. 1979. 149 pp. $2.00.

16452 Effects of Asbestos in the Canadian Environment. 1979. 185 pp. $3.00.

16453 Les effets de l'amiante dans l'environnement au Canada. 1980. 202 pp. $3.00.

16454 Copper in the Aquatic Environment: Chemistry, Distribution, and Toxicology. 1979. 227 pp. $3.00.

16455 Le cuivre dans l'environnement aquatique: chimie, répartition et toxicologie. 1980. 249 pp. $3.00.

16736 Effects of Lead in the Environment - 1978. Quantitative Aspects. 1979. 779 pp. $10.00.

16737 Effets du plomb dans l'environnement - 1978. Aspects quantitatifs. 1980. 853 pp. $5.00.

16738 Report of a Special Conference on Hearing Threshold Levels of "Isolated" Human Populations. Comptes rendus du symposium spécial sur les niveaux d'audition des populations humaines "isolées". 1978. 104 pp. $3.00.

16739 Effects of Mercury in the Canadian Environment. 1979. 290 pp. $3.00.

16742 Effets du mercure dans l'environnement au Canada. 1980. 292 pp. $3.00.

NRCC No. / CNRC nº	
16740	Carbofuran: Criteria for Interpreting the Effects of Its Use on Environmental Quality. 1979. 191 pp. $2.00.
16741	Carbofurane: critères pour interpréter les effets de son utilisation sur l'état de l'environnement. 1980. 184 pp. $2.00.
16743	Effects of Cadmium in the Canadian Environment. 1979. 148 pp. $3.00.
16744	Les effets du cadmium dans l'environnement canadien. 1979. 150 pp. $3.00.
16745	Effects of Lead in the Canadian Environment - 1978. Executive Report. Effets du plomb dans l'environnement canadien - 1978. Rapport administratif. 1979. 24 pp. $1.00.
17581	Water Hardness, Human Health, and the Importance of Magnesium. 1979. 119 pp. $3.00.
17582	Dureté de l'eau, santé et importance du magnésium. 1980. 123 pp. $3.00.
17583	Phthalate Esters in the Aquatic Environment. 1980. 108 pp. $3.00.
17584	Esters phtaliques dans l'environnement aquatique. 1981. 110 pp. $3.00.
17585	Executive Reports: Effects of Chromium, Alkali Halides, Arsenic, Asbestos, Mercury, and Cadmium in the Canadian Environment. 80 pp. Rapports Administratifs: effets du chrome, des halogénures alcalins, de l'arsenic, de l'amiante, du mercure, et du cadmium sur l'environnement canadien. 92 pp. 1980. $3.00.
17586	A Case Study of a Spill of Industrial Chemicals - Polychlorinated Biphenyls and Chlorinated Benzenes. 1980. $5.00.
17587	Effects of Yellow Phosphorus in the Canadian Environment. 1981. 110 pp. $3.00.
17588	Effets du phosphore blanc sur l'environnement canadien. 1981. 112 pp. $3.00.
17589	Zinc in the Aquatic Environment: Chemistry, Distribution, and Toxicology. 1981. 145 pp. $3.00.
17590	Le zinc dans l'environnement aquatique: chimie, répartition et toxicologie. 1981. 152 pp. $3.00.
18128	Intestinal Parasites of Man in the Canadian Environment. 1980. 69 pp. $2.00.
18129	Les parasites intestinaux de l'homme dans l'environnement canadien. 1980. 70 pp. $2.00.
18130	The Ecological Consequences of Dredging and Dredge Spoil Disposal in Canadian Waters. 1982. 142 pp. $5.00.
18131	Les conséquences écologiques du dragage et de l'élimination des résidus du dragage dans les eaux canadiennes. 1983. 150 pp. $5.00.
18132	Effects of Vanadium in the Canadian Environment. 1980. 94 pp. $2.00.
18133	Effets du vanadium dans l'environnement canadien. 1981. 92 pp. $2.00.
18134	Radioactivity in the Canadian Environment. 1980. 129 pp. $3.00.
18135	La radioactivité dans l'environnement canadien. 1981. 133 pp. $3.00.
18156	The Report of the *ad hoc* Panel Convened by the National Research Council of Canada to Review the Spill of Polychlorinated Biphenyls at the Federal Pioneer Ltd. Site in Regina, Saskatchewan. 30 January 1980. 15 pp.
18467	Hydrogen Sulfide in the Atmospheric Environment: Scientific Criteria for Assessing its Effects on Environmental Quality. 1981. 196 pp. $5.00.
18468	Sulfure d'hydrogène dans l'environnement atmospherique: critères scientifiques pour évaluer ses effets sur la qualité de l'environnement. 1982. 204 pp. $5.00.

NRCC No.
CNRC n°

18469 Ethylenethiourea: Criteria for the Assessment of its Effects on Man. 1980. 149 pp. $3.00.

18470 Ethylène-thiourée: critères pour évaluer ses effets sur l'homme. 1981. 187 pp. $3.00.

18471 Pesticide-Pollinator Interactions. 1981. 190 pp. $5.00.

18472 Interactions entre pesticides et pollinisateurs. 1981. 223 pp. $5.00.

18473 Effects of Aerosols on Atmospheric Processes. 1982. 208 pp. $8.00.

18474 Effets des aérosols sur les processus atmosphériques. 1983. 230 pp. $8.00.

18475 Acidification in the Canadian Aquatic Environment: Scientific Criteria for Assessing the Effects of Acidic Deposition on Aquatic Ecosystems. 1981. 369 pp. $10.00.

18476 Acidification dans l'environnement aquatique au Canada: critères scientifiques pour évaluer les effets du dépôt acide sur les écosystèmes aquatiques. 1982. 377 pp. $10.00.

18564 Effects of Inhaled Particles on Human Health: Influence of Particle Size and Shape. 1982. 177 pp. $8.00.

18565 Effets sur la santé des particules absorbées par voie respiratoire: influence de leur taille et de leur forme. 1983. 195 pp. $8.00

18566 Thermal Effects Upon Fishes. 1982. 200 pp. $8.00.

18567 Effets de la pollution thermique sur les poissons. 1983. 210 pp. $8.00.

18568 Effects of Nickel in the Canadian Environment. 1981. 352 pp. $4.00.

18569 Effets du nickel sur l'environnement canadien. 1982. 347 pp. $4.00.

18570 A Screen for the Relative Persistence of Lipophilic Organic Chemicals in Aquatic Ecosystems - An Analysis of the Role of a Simple Computer Model in Screening.
I. A Simple Computer Model as a Screen for Persistence.
II. An Introduction to Process Analyses and Their Use in Preliminary Screens of Chemical Persistence.
1981. 302 pp. $8.00.

18571 Contrôle de la persistance relative de produits organiques lipophiles dans les écosystèmes aquatiques - analyse du rôle d'une simple simulation par ordinateur. 1982. 335 pp. $8.00.

18572 Effects of Propoxur on Environmental Quality with Particular Reference to its Use for Control of Biting Flies. 1982. 238 pp. $8.00.

18573 Les effets du propoxur sur la qualité de l'environnement, notamment quant à son emploi dans la lutte contre les insectes piqueurs. 1982. 253 pp. $8.00.

18574 Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins: Criteria for Their Effects on Man and his Environment. 1981. 251 pp. $8.00.

18575 Polychlorodibenzo-p-dioxines: critères relatifs à leurs effets sur l'homme et son environnement. 1982. 276 pp. $8.00.

18576 Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins: Limitations to the Current Analytical Techniques. 1981. 184 pp. $8.00.

18577 Polychlorodibenzo-p-dioxines: limites des méthodes analytiques actuelles. 1982. 186 pp. $8.00.

18578 Chlorinated Phenols: Criteria for Environmental Quality. 1982. 191 pp. $8.00.

18579 Chlorophénols: critères pour évaluer leurs effets sur l'état de l'environnement. 1982. 217 pp. $8.00.

18976 Farm Animal Manures in the Canadian Environment. 1983. 139 pp. $8.00

18978 Workshop on the Combined Effects of Xenobiotics.
Atelier sur les effets combinés des xenobiotiques.
1982. 253 pp. $8.00.

18979 Aminocarb: The Effects of its Use on the Forest and the Human Environment. 1982. 253 pp. $8.00.

NRCC No.
CNRC n°

18980 Aminocarbe: effets de son utilisation sur la forêt et l'environnement. 1983. 271 pp. $8.00

18983 The Need for New Directions in Toxicological Funding.
Le besoin d'une nouvelle politique en ce qui concerne les subventions dans le domaine toxicologique.
1982. 11 pp. $2.00.

19244 Ultrasound: Characteristics and Biological Action. 1981. 284 pp. $8.00.

19245 Les ultrasons: caractéristiques et action biologique. 1982. 284 pp. $8.00.

19246 The Effects of Cyanides on Aquatic Organisms with Emphasis upon Freshwater Fishes. 1982.
139 pp. $5.00.

19247 Effets des cyanures sur les organismes aquatiques, notamment sur les poissons d'eau douce.
1983. 144 pp. $5.00.

19248 Biting Flies in Canada: Health Effects and Economic Consequences. 1982. 157 pp. $5.00.

19249 Insectes piqueurs au Canada: effets sur la santé et conséquences économiques. 1983. 169 pp.
$5.00.

19250 Radioactivity in the Canadian Aquatic Environment. 1983. 290 pp. $8.00

19252 Data Sheets on Selected Toxic Elements. 1982. 61 pp. $5.00.

19253 Fiches de données sur certains éléments toxiques. 1983. pp. $5.00

20640 Cold: Special Aspects in the Canadian North. 1983. 33 pp. $3.00.

20641 Aspects particuliers du froid dans le nord canadien. 1983. 33 pp. $3.00

20642 Proceedings of a Symposium on Monitoring and Assessment of Airborne Pollutants with Special Emphasis on Long-range Transport and Deposition of Acidic Materials and Workshop on Air and Precipitation Monitoring Networks.
Comptes rendus du symposium sur la surveillance et l'évaluation des polluants en suspension dans l'air et notamment sur le transport à grande distance et le dépôt de substances acides et Atelier sur les réseaux de surveillance de l'air et des précipitations.
1983. 502 pp. $8.00.

20643 Interactions of Selenium. 1983. 85 pp. $5.00

20645 Impact Assessments in Lotic Environments - Methoxychlor. 1983. 130 pp. $5.00

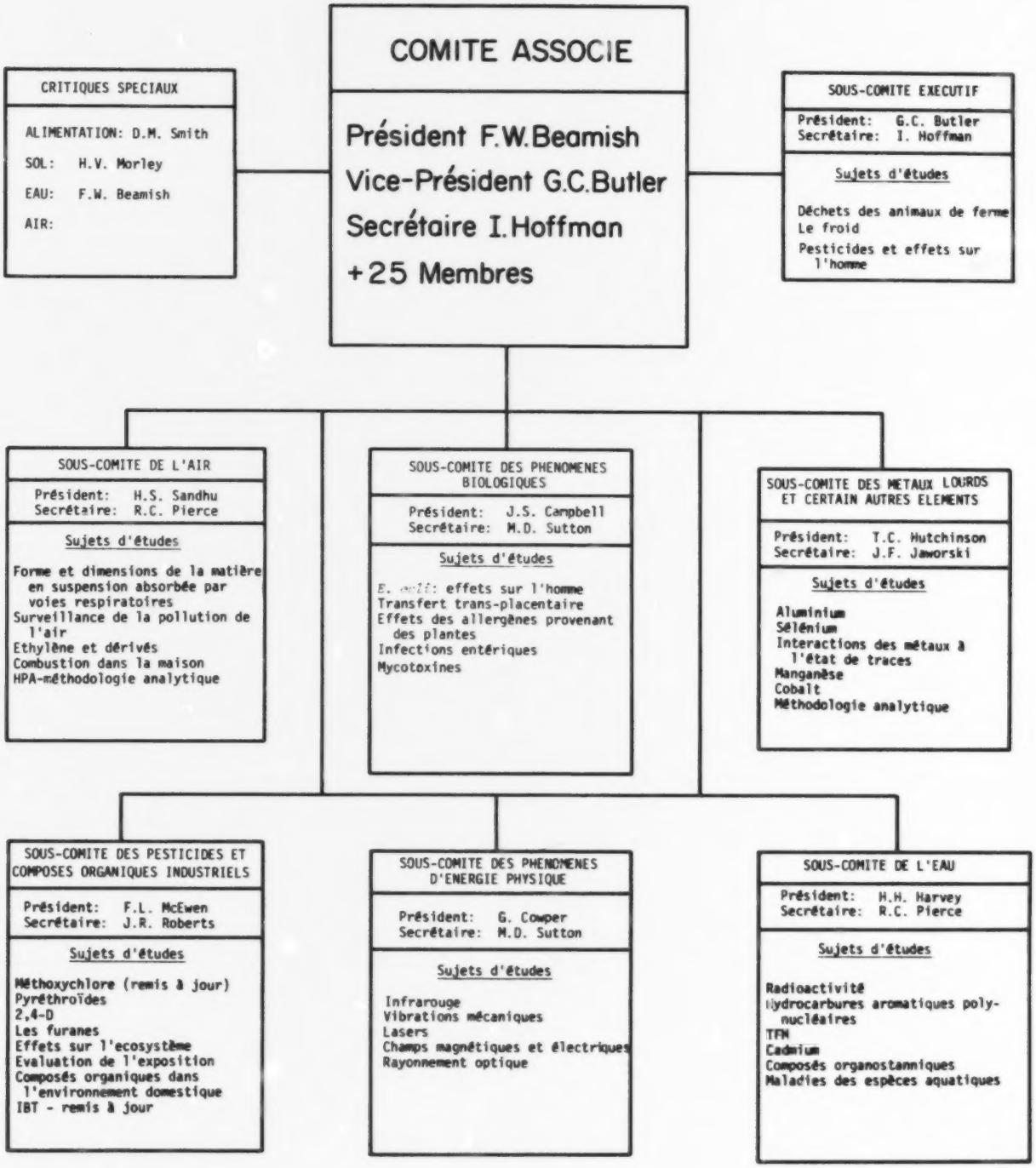
Available through prepaid purchase orders from

En vente, moyennant commandes prepayées, au Service des

Publications, NRCC/CNRC
Ottawa, Ontario K1A 0R6

ORGANIGRAMME

COMITE ASSOCIE SUR LES CRITERES SCIENTIFIQUES CONCERNANT L'ETAT DE L'ENVIRONNEMENT



POOR

QUALITY

ORIGINAL